

MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL

MARINHA

ESCOLA NAVAL

DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE FUZILEIROS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**FORÇAMENTO ATMOSFÉRICO DE LARGA ESCALA DO CLIMA DE
AGITAÇÃO MARÍTIMA NA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA
PORTUGUESA**

20808 ASPOF FZ Pedro Jorge Pestana Lozano

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS
(RAMO FUZILEIROS)**

Alfeite

2013

NÃO CLASSIFICADO

NÃO CLASSIFICADO

MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL

MARINHA

ESCOLA NAVAL

DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE FUZILEIROS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**FORÇAMENTO ATMOSFÉRICO DE LARGA ESCALA DO CLIMA DE
AGITAÇÃO MARÍTIMA NA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA
PORTUGUESA**

MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS

(RAMO FUZILEIROS)

20808 ASPOF FZ Pedro Jorge Pestana Lozano

Orientador: 22185 CFR M Álvaro António Milho Semedo

Alfeite

2013

NÃO CLASSIFICADO

NÃO CLASSIFICADO

NÃO CLASSIFICADO

MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL

MARINHA

ESCOLA NAVAL

DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE FUZILEIROS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**FORÇAMENTO ATMOSFÉRICO DE LARGA ESCALA DO CLIMA DE
AGITAÇÃO MARÍTIMA NA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA
PORTUGUESA**

MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS

(RAMO FUZILEIROS)

Elaborado por:

Orientado por:

ASPOF FZ Pestana Lozano

CFR M Milho Smedo

Alfeite

2013

NÃO CLASSIFICADO



À minha família...





AGRADECIMENTOS

Antes de iniciar esta Dissertação de Mestrado, creio ser de grande importância enaltecer e agradecer a todos aqueles que estiveram presentes neste processo, que contribuíram para a sua realização e que foram essenciais à sua concretização:

Ao CFR Milho Semedo, tutor e responsável máximo na orientação desta dissertação, por todo o apoio, paciência, disponibilidade e confiança depositada;

Aos militares e civis do Instituto Hidrográfico envolvidos no processo de disponibilização dos dados de agitação marítima das boias ondógrafo, nomeadamente à Dra. Rita Esteves, ao CFR Santos Martinho, ao CFR Freitas Artilheiro, ao 1TEN Luis Quaresma e ao 1TEN Maia Marques;

Ao Departamento de Formação de Fuzileiros e aos oficiais Fuzileiros que exerceram funções no mesmo, realçando o CFR FZ Almeida Gabriel, 1TEN FZ Silva Filipe e 1TEN FZ Drago Gonçalves, grandes responsáveis pela minha formação específica enquanto Cadete Fuzileiro;

Aos militares que passaram pelo Serviço de armamento da Escola Naval, nomeadamente o 1SAR FZ Casaca Torção, pelo saber demonstrado e conhecimentos práticos transmitidos;

Aos meus formadores e instrutores do “Estágio para alunos Fuzileiros do 5º ano da Escola Naval” durante a minha passagem pela Escola de Fuzileiros, nomeadamente o 2TEN FZ Luís Gomes Goulart, STEN FZ RC Santos Nogueira, 2SAR FZ Aranha Guerra e CAB FZ Mendes da Fonseca, que me acompanharam no processo final da minha formação como Fuzileiro;

Ao CFR SEG Gil Lopes pela disponibilidade e acompanhamento do meu percurso académico na Escola Naval;



Ao “Curso Vice Almirante Pereira Crespo”, que me enquadrou na Escola Naval, na vida e na cultura militar;

Aos meus camaradas do Curso “Padre Fernando Oliveira”, e especificamente aos meus camaradas de classe, ASPOF FZ Torres Côrte-Real e ASPOF FZ Reis Faria, pelas tristezas, dificuldades e alegrias que passamos juntos;

Aos meus amigos mais chegados, pelos bons momentos que passámos juntos, bem como pelas manifestações de incentivo;

E, por último, à minha família, por tudo.



RESUMO

A presente dissertação de Mestrado, intitulada “Forçamento atmosférico de larga escala do clima de agitação marítima na Zona Económica Exclusiva portuguesa”, pretende estudar a relação entre o clima de agitação marítima na Zona Económica Exclusiva portuguesa (ZEE) e a circulação atmosférica de larga escala. Com recurso aos dados de observações de agitação marítima de boias ondógrafo, disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico da Marinha, para período de 1990 a 2012, é efetuada uma primeira análise do clima de agitação marítima junto à costa de Portugal Continental (ao largo de Leixões, Sines e Faro), e a sua relação com o forçamento atmosférico de larga escala, representado pelo índice da oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation* – NAO). Posteriormente, é estudado o clima de ondas em toda a ZEE Portuguesa, com utilização de dados de reanálise de ondas (*ERA-Interim*), no período de 1979 a 2010.

É demonstrado que, na ZEE portuguesa, o clima de agitação marítima é influenciado pela circulação atmosférica de larga escala, e que a NAO exerce mais influência no clima de agitação marítima nos meses de inverno do que nos meses de verão. Os resultados obtidos a partir dos dados das boias permitem concluir que os valores médios dos parâmetros mais representativos da agitação marítima (altura significativa, período médio, período de pico e direcção média de propagação) no regime NAO positivo são, de um modo geral, superiores e de setores mais de Norte relativamente aos encontrados no regime NAO negativo. No inverno, estes valores são mais elevados nos períodos de regime NAO positivo, e mais baixos nos períodos de regime NAO negativo. Por outro lado, no verão, são mais elevados nos períodos de regime NAO negativo, e mais baixos nos períodos de regime NAO positivo. Relativamente à variabilidade dos parâmetros, verifica-se que é mais elevada nos meses de Outono e Inverno, e é tanto maior quanto maior for a latitude. Os valores extremos dos parâmetros são mais elevados à medida que a latitude vai aumentando, atingindo o seu máximo nos meses de inverno. Por outro lado, quando a latitude é mais baixa, os valores extremos deixam de estar associados a regime NAO positivo, passando a estar associados a regime NAO negativo. Os dados da reanálise permitem concluir que, a NAO exerce mais influência no clima de agitação marítima no inverno do que no verão. No inverno, os valores dos parâmetros são em média superiores em períodos de regime NAO positivo, e inferiores em regime NAO negativo. Nos meses de verão, a influência da NAO não é tão perceptível.

Palavras-chave: Zona Económica Exclusiva, boias ondógrafo, agitação marítima, *North Atlantic Oscillation*, *ERA-Interim*.



ABSTRACT

This thesis, entitled “Large scale atmospheric forcing of the wave climate at the Portuguese Exclusive Economic Zone” studies the relationship between the wave climate at the Portuguese Exclusive Economic Zone (EEZ), and the large scale atmospheric circulation. Using data from buoy observations, available at the Portuguese Navy’s Hydrographic Institute, from 1990 to 2012, a first analysis of the wave climate near the continental Portuguese coast (offshore Leixões, Sines and Faro) and its relationship with the large scale atmospheric forcing, represented by the North Atlantic Oscillation (NAO) index, is carried on. Then, the wave climate is studied in the all Portuguese EEZ, with the use of wave reanalysis data (*ERA-Interim*), from 1979 to 2010.

It is shown that, in the Portuguese EEZ, the wave climate is affected by the large scale atmospheric circulation, and that NAO is more influent in the wave climate during the winter months, rather than in the summer. The results from buoys allow us to conclude that mean values, from the most representative wave parameters (significant wave height, mean period, peak period and mean wave direction), at a positive NAO phase, are generally higher and from northern sectors, comparatively to the ones found at a negative NAO phase. In the winter, these values are higher at the positive NAO phase and lower during the negative NAO phase. In the summer, they are usually higher during the negative NAO phase and lower during positive NAO phase. In what respects to wave parameters variability, it is shown that it is greater during autumn and winter, and increases when the latitude is superior. Regarding extreme values these are higher when the latitude increases and peak in the winter. On the other hand, when at low latitude, the extreme values are no longer associated to a positive NAO phase, being associated to a negative NAO phase. The results from reanalysis data allowed us to conclude that NAO is more influent during winter months, rather than during the summer. Still, in the winter, parameters values are, on average, higher during positive NAO phase, and lower during negative NAO phase. In the summer, NAO influence is not so much perceptible.

Keywords: Exclusive Economic Zone, buoys, wave climate, North Atlantic Oscillation, *ERA-Interim*.



ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
ÍNDICE GERAL.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xxxi
LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS.....	xxxiii
1. INTRODUÇÃO	
1.1. Relevância do estudo do tema.....	1
1.2. Justificação e objetivos da dissertação.....	4
1.3. Estrutura da dissertação.....	5
2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL	
2.1. As origens do estudo das ondas de superfície.....	7
2.2. O estudo separado de “vaga” e “ondulação”.....	9
2.3. Estudos recentes no âmbito do tema.....	10
3. O OCEANO E AS ONDAS	
3.1. Considerações gerais.....	13
3.2. Vaga e ondulação.....	14
3.3. A Oscilação do Atlântico Norte	15
3.4. Teoria Básica de onda	
3.4.1. Parâmetros estudados nesta dissertação.....	17
4. DADOS E METODOLOGIA	
4.1. Os dados das boias ondógrafo.....	23
4.2. A reanálise <i>ERA-Interim</i>	25
4.3. Metodologia.....	27
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	
5.1. Séries temporais dos parâmetros das boias em função do índice <i>NAO</i> ...33	
5.2. Correlação entre os parâmetros H_s e T_m e o índice <i>NAO</i>	51
5.3. Análise da variabilidade de H_s e T_m	57
5.4. Estudo das frequências de ocorrência de H_s , T_m e <i>MWD</i> em função do índice <i>NAO</i>	67



5.5.	Análise anual e sazonal dos parâmetros H_s , T_m e MWD em função do Índice NAO , com recurso aos dados da reanálise <i>ERA-Interim</i>	111
6.	SUMÁRIO, CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	
6.1.	Sumário.....	135
6.2.	Conclusões.....	137
6.3.	Trabalho futuro e recomendações.....	141
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
	ANEXOS	
	ANEXO A	
	ANEXO B	



LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1 – ZEE Portuguesa. Da esquerda para a direita: ZEE do Arquipélago dos Açores, ZEE do Arquipélago da Madeira, ZEE de Portugal Continental (forumdefesa.com, 2013).....2
- Fig. 2 – Localização geográfica das estações/boias; GOOGLE EARTH, 2013.....24
- Fig. 3 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 34
- Fig. 4 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 35
- Fig. 5 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 37
- Fig. 6 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 40



Fig. 7 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 41

Fig. 8 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 43

Fig. 9 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 45

Fig. 10 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 46

Fig. 11 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- 48



Fig. 12 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.....58

Fig. 13 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.....59

Fig. 14 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.....60

Fig. 15 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.....61

Fig. 16 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.....62

Fig. 17 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.....62

Fig. 18 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.....63

Fig. 19 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.....64

Fig. 20 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.....65



Fig. 21 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....67

Fig. 22 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....68

Fig. 23 – Histogramas de frequências relativas de MWD total (°; A), de MWD em regime NAO positivo (°; B) e de MWD em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....69

Fig. 24 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....70

Fig. 25 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....71

Fig. 26 – Histogramas de frequências relativas de MWD total (°; A), de MWD em regime NAO positivo (°; B) e de MWD em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....72

Fig. 27 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....73

Fig. 28 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....74



Fig. 29 – Histogramas de frequências relativas de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....75

Fig. 30 – Funções densidade de probabilidade de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total ($^{\circ}$, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....77

Fig. 31 – Funções densidade de probabilidade de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^{\circ}$, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....78

Fig. 32 – Funções densidade de probabilidade de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^{\circ}$, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....80

Fig. 33 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....81

Fig. 34 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....82



Fig. 35 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....83

Fig. 36 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....84

Fig. 37 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....85

Fig. 38 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....86

Fig. 39 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....87

Fig. 40 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....88

Fig. 41 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....89

Fig. 42 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total ($^{\circ}$; C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as



boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....91

Fig. 43 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....92

Fig. 44 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....94

Fig. 45 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....95

Fig. 46 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....96

Fig. 47 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de MWD total (°; A), de MWD em regime NAO positivo (°; B) e de MWD em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....97

Fig. 48 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....98



Fig. 49 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....99

Fig. 50 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....100

Fig. 51 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....101

Fig. 52 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....102

Fig. 53 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....103

Fig. 54 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total ($^{\circ}$, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....105

Fig. 55 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^{\circ}$, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....106



Fig. 56 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^\circ$, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....108

Fig. 57 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, para o período de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.....113

Fig. 58 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.....114

Fig. 59 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.....119

Fig. 60 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, no período de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com MWD associada (em graus). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com MWD associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.121



Fig. 61 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, no período de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A MWD associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 60, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.....122

Fig. 62 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, períodos de regime *NAO* positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.....126

Fig. 63 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime *NAO* positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A *MWD* associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 62, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.....127

Fig. 64 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime *NAO* negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.....130

Fig. 65 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime *NAO* negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A *MWD* associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 64, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.....131



Fig. A1 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-3

Fig. A2 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-4

Fig. A3 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-5

Fig. A4 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-6

Fig. A5 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-7



Fig. A6 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- A-8

Fig. A7 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM.....A-9

Fig. A8 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM...A-10

Fig. A9 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM...A-10

Fig. A10 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.....A-11

Fig. A11 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.....A-11

Fig. A12 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.....A-12

Fig. A13 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.A-13

Fig. A14 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....A-13



Fig. A15 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....A-14

Fig. A16 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-15

Fig. A17 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-15

Fig. A18 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-16

Fig. A19 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-17

Fig. A20 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-17

Fig. A21 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de MWD total ($^{\circ}$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-18



Fig. A22 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total ($^\circ$, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-19

Fig. A23 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^\circ$, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-20

Fig. A24 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^\circ$, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-21

Fig. A25 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....A-22

Fig. A26 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....A-22

Fig. A27 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de MWD total ($^\circ$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^\circ$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^\circ$; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.....A-23



Fig. A28 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-24

Fig. A29 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-24

Fig. A30 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de MWD total ($^\circ$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^\circ$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^\circ$; C), com barras azuis, para a boia de Sines.....A-25

Fig. A31 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-26

Fig. A32 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-26

Fig. A33 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de MWD total ($^\circ$; A), de MWD em regime NAO positivo ($^\circ$; B) e de MWD em regime NAO negativo ($^\circ$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.....A-27

Fig. A34 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total ($^\circ$, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-28



Fig. A35 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^\circ$, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-29

Fig. A36 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD ($^\circ$, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.....A-30

Fig.B1 – Variação anual do Índice NAO, relativa a valores mensais, no período de 1979 a 2012. As barras a vermelho simbolizam períodos de índice NAO positivo, e barras a azul simbolizam períodos de índice NAO negativo.....B-1



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – considerações gerais das estações utilizadas nesta dissertação.....	24
Tabela 2 – Registos de observações anuais e totais respeitantes a cada boia.....	28
Tabela 3 – Registos de observações sazonais respeitantes a cada boia.....	29
Tabela 4 – Coeficiente de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO	51
Tabela 5 - Coeficientes de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO , separadamente para períodos de regime NAO^+ e NAO^-	52
Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre H_s e o índice NAO , e entre T_m e o índice NAO , para cada ano.....	53
Tabela 7 - Coeficientes de correlação, para as diferentes estações do ano, entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO	54
Tabela 8 - Coeficientes de correlação, para as diferentes estações do ano, entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO , separadamente para os períodos em de regime NAO positivo e negativo.....	55
Tabela 9 – Desvio padrão de H_s e T_m , relativo às suas médias diárias.....	57
Tabela 10 – Desvio padrão sazonal, relativo a valores diários, dos parâmetros H_s e T_m	57
Tabela 11 – Média do desvio padrão sazonal, relativo a valores mensais, dos parâmetros H_s e T_m	66



Tabela A1 - Tabela dos valores médios anuais e sazonais dos parâmetros, gerais, para índice NAO positivo e para índice NAO negativo.....	A-2
--	-----



LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS

CENTEC	Centro de Engenharia e Tecnologia Naval
C_p	Velocidade de fase
CNUDM	Código das Nações Unidas para o Direito do Mar
DJF	dezembro, janeiro e fevereiro
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ERA	<i>ECMWF Re-Analysis</i>
FGGE	<i>First GARP (Global Atmospheric Research Program)</i> <i>Global Experiment</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
g	Velocidade gravítica
HIPOCAS	<i>Hindcast of Dynamic Process of the Ocean and Coastal</i> <i>Areas (of Europe)</i>
H_s	Altura significativa da onda
IH	Instituto Hidrográfico
IM	Instituto de Meteorologia (atualmente, IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel for Climate Change</i>
IST	Instituto Superior Técnico
JJA	junho, julho e agosto
L	Comprimento da onda
LAM	<i>Limited Area Model</i>
m_0	momento zero
m_1	primeiro momento espectral
MABL	<i>Marine Atmospheric Boundary Layer</i>
MAM	março, abril e maio
METOC	Meteorologia e Oceanografia
MICUT	<i>Model Independent Calibration and Uncertainty Analysis</i> <i>Toolbox</i>
MM5	<i>Mesoscale Meteorological Model</i>
MWD	<i>Mean Wave Direction</i> (Direção média de propagação da onda, representada igualmente por θ_m)



N	Norte
NAO	<i>North Atlantic Oscillation</i>
NAO ⁺	NAO positivo
NAO ⁻	NAO negativo
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i> (em português, OTAN – Organização do Tratado do Atlântico Norte)
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NE	Nordeste
NNE	Nor-nordeste
NNW	Nor-noroeste
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NW	Noroeste
REA	<i>Rapid Environmental Assessment</i>
S	Sul
SON	setembro, outubro e novembro
SSW	Su-sudoeste
SW	Sudoeste
SWAN	<i>Simulating WAVes Nearshore</i>
T	Período
T _m	Período médio da onda
T _p	Período de pico da onda
U ₁₀	Velocidade do vento aos 10 metros de altitude
u [*]	Velocidade de fricção
W	Oeste
WA	<i>Wave age</i> (em português, “Idade da onda”)
WAM	<i>Wave Analyses Model / Wave Modelling</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WNW	Oes-noroeste
WSW	Oes-sudoeste
ZEE	Zona Económica Exclusiva
π	Pi



“O elemento do mar constitui uma terceira parte do mundo que é animada pelo sopro dos ventos e também pela sua própria respiração e movimento (...) em determinadas horas, tanto de dia como de noite, o mar corre num sentido e noutro (...) esta incerteza da água que corre ora para cima, ora para baixo, sendo favorável, ajuda o curso dos navios, sendo adversa, retarda-o (...) então aquele que vai travar um combate naval deve conhecer os costumes do mar e do local antes do confronto.”

Publio Vegetius Renatus (Vegécio), Séc. III-IV D.C.,

in

Epitoma Rei Militaris, Livro IV, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, maio de 2009, p.375





1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, INTRODUÇÃO, é abordada a relevância do estudo do tema em questão, a justificação e objetivos da dissertação, bem como a sua estrutura.

1.1. Relevância do estudo do tema

O conhecimento do clima de ondas e o estado da agitação marítima num determinado local, próximo da costa ou em mar aberto, são de fundamental importância para muitos aspetos das áreas da Oceanografia, Meteorologia e das Engenharias. Tendo em conta que cada vez mais é necessário encontrar novas formas de energia, preferencialmente renováveis, olha-se cada vez mais para a energia das ondas como um caminho a seguir. Sabendo que o impacto ambiental é praticamente inexistente, a energia das ondas fornece densidades de energia superiores a outras fontes de energia, permitindo que os dispositivos de conversão retirem mais potência de um volume mais pequeno, e tenham consequentemente menores custos que conversores de outros tipos de energia (PEREIRA, 2008). As avaliações e previsões do clima de agitação marítima também são especialmente importantes nas áreas costeiras de grande afluência de navios, uma vez que a agitação marítima pode condicionar a abertura das barras (e consequentemente as entradas nos portos), fundeadouros, zonas onde operam navios de pesca ou simplesmente passagens de rotas. Por outro lado, são de primordial importância na elaboração de projetos de plataformas *off-shore* de exploração de petróleo, desenho e construção de estruturas de proteção costeiras, canais e portos (MURALEEDHARAN, 1991; ABADIE *et al.*, 2006). Durante o projeto destas obras, são analisadas longas séries temporais dos parâmetros de onda como a altura significativa, período médio e direção média de propagação, para que as mesmas consigam suportar, com segurança e economia, os esforços aos quais estarão sujeitas durante a sua vida útil. Neste contexto, o conhecimento das condições de agitação marítima passíveis de virem a ocorrer torna-se vital para o sucesso do projeto (MELO *et al.*, 2010).

Na sequência da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (CNUDM), foi definida em Portugal uma Zona Económica Exclusiva (ZEE) com 200



milhas náuticas de largura (CNUDM, 1982), a partir da costa. Tendo em conta a dimensão do território português (que é constituído não só por uma parte continental como também por dois arquipélagos), esta apresenta uma enorme relevância devido à sua extensão e localização, que no total, tem uma área de cerca de 18 vezes a do território continental. O “Oceano português” corresponde então a um total de mais de 1 700 000 km² de ZEE: é a maior ZEE da União Europeia, e a terceira maior do continente Europeu, a seguir à da Rússia e à da Noruega. Tal situação confere ao país especiais responsabilidades sobre grande parte do Atlântico Nordeste (BORGES *et al.*, 2009). Consequentemente, de acordo com as normas de direito internacional, Portugal tem direitos soberanos sobre a ZEE e sobre a Plataforma Continental (no conceito jurídico) para prospetar e explorar, conservar e gerir todos os recursos naturais vivos e não vivos, do fundo do mar e do seu subsolo, e das águas sobrejacentes, bem como sobre todas as outras atividades que tenham por fim o estudo e a exploração económica da zona, tais como a produção de energia a partir das correntes, das ondas e do vento (DIAS, 2003).

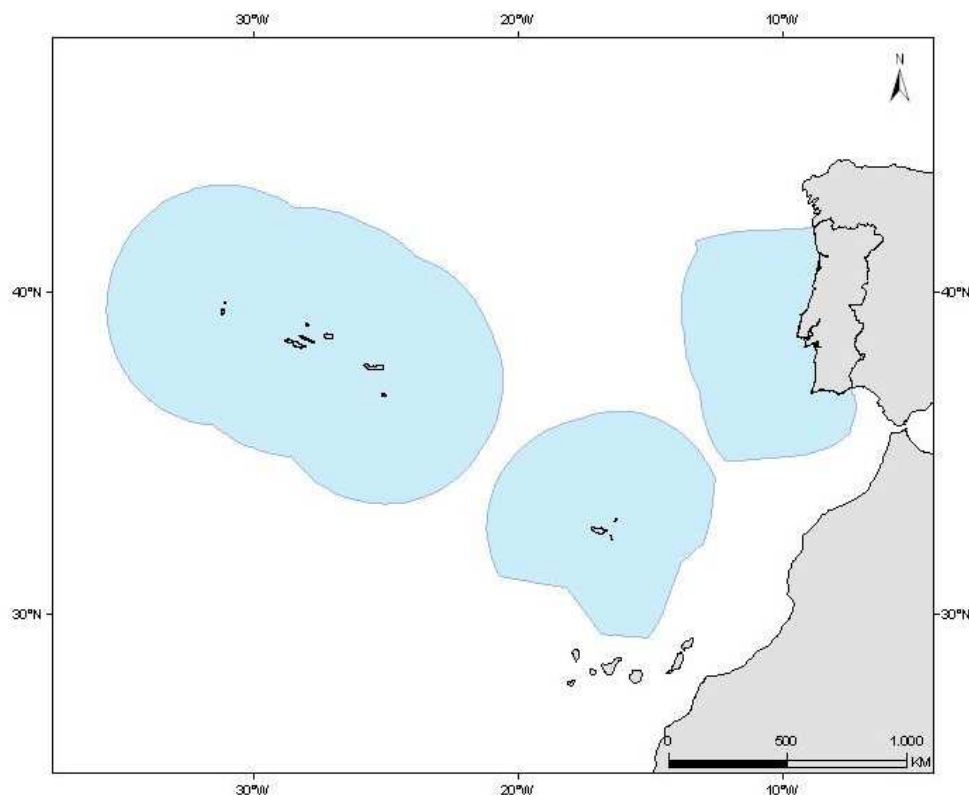


Fig. 1 – ZEE Portuguesa. Da esquerda para a direita: ZEE do Arquipélago dos Açores, ZEE do Arquipélago da Madeira, ZEE de Portugal Continental (forumdefesa.com, 2013).



Atualmente, são realizadas na ZEE portuguesa diversas atividades económicas que movimentam grandes investimentos, especialmente a pesca e a navegação, atividades essas que direta ou indiretamente são afetadas pela ação das ondas. Esses motivos fazem dela uma região atrativa ao estudo a ser desenvolvido.

Para além da importância que esta temática tem no âmbito civil, a sua relevância no âmbito militar também não pode ser descurada, uma vez que a variedade de condições climáticas e eventos extremos associados poderá ter um impacto significativo nas operações militares. Estes impactos incluem um aumento do risco de vida e de lesões, tendo um efeito nocivo na performance do militar, equipamentos, materiais e meios envolvidos nas missões. Os comandantes responsáveis por planear campanhas militares precisam de avaliar o impacto das condições ambientais em fatores como a mobilidade dos veículos, o rendimento do militar, o consumo de combustível e a visibilidade. A informação meteorológica, oceanográfica e climatológica pode ser usada para estimar estes impactos, em períodos de tempo que podem ir de semanas a anos (WEATHERLY, 2004).

No caso particular das operações anfíbias, que justificam existência de um militar Fuzileiro, saber que condições ambientais vão ser esperadas antes das operações, pode implicar literalmente a diferença entre o sucesso e o fracasso. Os dados ambientais são, assim, necessários por duas razões: primeiro, para providenciar uma base de dados dos fatores que variam muito pouco com o passar do tempo, como a composição do solo oceânico, e dos que, pelo contrário, variam consideravelmente, como o estado do mar; segundo, para determinar a variedade de condições esperadas durante o planeamento e condução da operação, como o comprimento da zona de rebentação e altura da onda, morfologia da praia de desembarque, sedimentos e batimetria, características das ondas de superfície, correntes e torção da água (ANDREW *et al.*, 2000).



1.2. Justificação e objetivos da dissertação

Embora, até ao momento, ainda não tenha sido conduzida em Portugal nenhuma investigação no âmbito da temática em estudo aplicada à componente militar operacional, no âmbito civil, a agitação marítima na ZEE portuguesa tem sido objeto de estudo por parte de vários autores, com enfoque nos seguintes pontos: estabelecimento das condições médias globais, sazonais e extremas de agitação marítima, com base nos dados adquiridos pelas boias ondógrafo (por exemplo, COSTA & ESTEVES, [s.d.]; COSTA *et al.*, [s.d.]; ESTEVES *et al.*, 2010); caracterização o clima de agitação marítima, com recurso a modelos numéricos de propagação e geração de ondas (por exemplo, PEREIRA, 2008; BENTO *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2010; RUSU *et al.*, 2010); utilização de modelos de ondas e dados de reanálise para implementação de um sistema de reconstituição e previsão da agitação marítima (por exemplo, FARIA, 2009).

No entanto, apesar do seu estudo com recurso às ferramentas discriminadas no parágrafo anterior, a ligação entre a agitação marítima na ZEE portuguesa e o forçamento atmosférico carece de um estudo mais detalhado, uma vez que até à data, com a exceção de SEMEDO (2005), que estudou a influência da Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation* – NAO) no regime de ondas extremas em Portugal (o qual não foi perseguido com o devido detalhe) mais nenhum autor logrou estabelecer essa ligação.

Assim, a **presente dissertação de Mestrado pretende estudar a relação entre o clima de agitação marítima na ZEE portuguesa e o forçamento atmosférico de larga escala**, em certa medida, complementando o trabalho de SEMEDO (2005). O presente estudo utiliza observações de boias ondógrafo do Instituto Hidrográfico (IH) junto à costa de Portugal Continental, ao largo de Leixões, Sines e Faro, e dados de reanálise de ondas. Os detalhes dos dados utilizados neste trabalho serão mencionados adiante no capítulo 4.

Numa primeira fase, com recurso aos dados de observações das boias, no período de 1990 a 2012, é efetuada uma primeira análise do clima de agitação marítima (estudo das ocorrências de diversos tipos de agitação, caracterizada pelos seus valores de altura significativa, período médio, período de pico e direção média de propagação).



Numa segunda fase, é estudada a relação entre os diferentes regimes e características da agitação marítima e o respetivo forçamento atmosférico, recorrendo aos dados das boias e a um índice representativo da circulação geral da atmosfera no Atlântico Norte (o índice NAO).

Na terceira fase, é estudado o clima de ondas em toda a ZEE Portuguesa, com utilização de dados de reanálise de ondas (*ERA-Interim*), no período de 1979 a 2010. À semelhança da segunda fase, nesta fase é estudada a relação entre as características de agitação marítima (através dos dados de reanálise) e o índice NAO.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação de Mestrado é apresentada em seis capítulos. Após as notas introdutórias, onde é contextualizado o estudo envolvido (relevância, justificação e objetivos da dissertação), é apresentado, no capítulo 2, o enquadramento conceptual da tese e a revisão bibliográfica do estado da arte, seguido das noções teóricas (capítulo 3) sobre agitação marítima. No capítulo 4 são abordados os dados e métodos de análise tidos em conta, bem como a metodologia e ferramentas utilizadas. No capítulo 5 são referidos e analisados os resultados, obtidos a partir dos dados das boias ondógrafo, e obtidos a partir dos dados da reanálise *ERA-Interim*. O sumário, as conclusões tiradas, decorridas do mencionado em todos os capítulos desta dissertação, bem como propostas de trabalho futuro e recomendações, fazem parte do capítulo 6. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas e os dois anexos a esta dissertação.





2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

Neste capítulo, ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL, é apresentado o “Estado da Arte”: as origens do estudo das ondas de superfície, o estudo separado de “vaga” e “ondulação”, e estudos recentes no âmbito do tema.

2.1. As origens do estudo das ondas de superfície

Embora os estudos científicos das ondas, que formam um importante fenómeno nos oceanos, tenham sido iniciados no começo do século XIX pelo cientista alemão Franz Gerstner, a investigação dos aspetos ligados às ondas é uma atividade relativamente recente. Segundo WMO (1998), até aproximadamente ao início da década de 40, a única forma existente para descrever o estado do mar era a escala *Beaufort*, criada pelo Almirante inglês Francis Beaufort em 1805, e adotada pela Marinha inglesa em 1834, a qual relaciona a intensidade do vento com o estado do mar. Na segunda metade do século XIX o Homem desenvolveu o interesse pelo estudo do mar. Surgiram as expedições oceanográficas, algumas delas ao largo da costa portuguesa. A intensa atividade oceanográfica desenvolvida pelo Príncipe Alberto do Mónaco, um amigo pessoal do rei D. Carlos de Bragança, também conhecido como “O Rei Oceanógrafo”, levou a que este, auxiliado por um valoroso conjunto de colaboradores, de entre os quais se destaca Albert Girard, decidisse explorar cientificamente o mar português, para o dar a conhecer, realizando doze Campanhas Oceanográficas (1896-1907) ao largo da costa portuguesa (FARIA *et al.*, 2010).

No início do séc. XX o estudo do mar começou,então, a dar os seus “primeiros passos”. O *Challenger* foi o primeiro navio oceanográfico, construído a partir de uma Corveta da Marinha Britânica (*Royal Navy*) adaptada para o efeito. Este percorreu 127 000 km (68890 milhas), efetuou 492 estudos de profundidade, 362 estações de análise de água e de sedimentos, 133 dragagens e descobriu 4 700 novas espécies de animais e plantas. Foi estudada uma grande variedade de aspetos marinhos, incluindo temperaturas oceânicas, correntes, a vida marinha e a geologia do fundo do mar (CAMÕES *et al.*, 2011).

No entanto, foi só a partir da Segunda Guerra Mundial que se tornou urgente haver estudos empíricos e teóricos, no sentido de aumentar o conhecimento em ondas



de superfície. O estado da arte antes da guerra estava limitado a alguns desenvolvimentos teóricos baseados nas leis de mecânica clássica e algumas generalizações que empregavam métodos expeditos para a observação do estado do mar. No entanto, para uma melhor compreensão do fenómeno da onda, era necessário ter a noção do seu espectro, com uma análise detalhada dos fatores que causam a geração e o declínio da onda. Os estudos feitos por Harold e outros para previsões de onda e movimentos de superfície, para operações navais durante a última guerra, permitiram um ímpeto oportuno neste sentido (MURALEEDHARAN, 1991). O crescimento da importância das forças navais no conflito levou a Marinha dos Estados Unidos (*U.S. Navy*) a investir em estudos para a descrição da agitação marítima, nomeadamente na previsão de “vaga” e “ondulação” para a invasão do Norte de África. Neste sentido, Sverdrup e Munk desenvolveram os primeiros estudos em 1943 (*Wind Waves and Swell; A Basic Theory for Forecasting*), sendo os resultados apenas divulgados ao público após o final da guerra, em 1947 (SVERDRUP & MUNK, 1947). A grande questão que se colocava era como um vento horizontal iniciava a formação de ondas numa superfície parada. Esse processo foi mais bem explicado pelos chamados *resonance mechanism* (“mecanismo de ressonância”) e *feed-back mechanism* (“mecanismo de retorno”) proposto por PHILLIPS (1957). Considera-se, então, um mar sem rugosidade tal como um espelho liso (logo, o número *Beaufort* é zero), no qual começa a atuar um vento com velocidade constante. No estágio inicial da geração de ondas, a turbulência do vento produz oscilações aleatórias da pressão sobre a superfície do mar que originam pequenas ondas de forma irregular, com comprimentos de alguns centímetros, conhecidas como “ondas capilares”. O modelo de Phillips explicava então o estágio inicial da geração de ondas. O crescimento dessas ondas foi melhor explicado por MILES (1957). Segundo o mesmo, o vento que atua sobre a onda produz diferenças de pressão, geradas por turbulência na atmosfera, ao longo do perfil da onda, o que faz com que esta cresça. O processo é instável porque, à medida que a onda se torna maior, a diferença de pressão aumenta, e a onda cresce mais rapidamente.

A junção dos dois trabalhos resultou no que ficou conhecido como o “mecanismo de Phillips e Miles”. Neste sentido, o modelo de Phillips-Miles foi a base para o entendimento da geração de ondas pelo vento. Na teoria de Phillips, é proposto um crescimento linear do espectro da onda no tempo, enquanto que na aproximação de Miles, o crescimento da onda resultante do espectro de onda torna-se exponencial no



tempo. A teoria de Phillips e Miles pode ser amplamente encontrada na literatura (por exemplo DEAN & DALRYMPLE, 1991; MASSEL, 1996; SORENSEN, 1997; JANSEN, 2004; STEWART, 2008).

Com a intenção de se obter um espectro de ondas esperado para as diversas condições de mar, vários espectros foram usados para responder a questões no âmbito da engenharia Oceânica e Oceanografia. O mais simples é aquele proposto por Pierson e Moskowitz, em 1964, onde os autores partiram do pressuposto que se o vento atuasse constantemente por um longo período de tempo sobre uma grande área, as ondas poderiam entrar em equilíbrio com o vento. Este é o conceito de um “mar saturado” (PIERSON & MOSKOWITZ, 1964; STEWART, 2008).

2.2. O estudo separado de “vaga” e “ondulação”

Têm sido diversas as razões e motivações que têm levado ao estudo separado de “vaga” (em inglês, *wind sea*) e “ondulação” (em inglês, *swell*; o conceito de “vaga” e “ondulação” é referido adiante na secção 3.2.). Os processos de geração e crescimento relacionados com a “vaga” têm sido o principal foco de estudo da comunidade responsável pela modelação da “onda” para efeitos de análise da sua geração e crescimento. No entanto, por outro lado, sabendo que a “ondulação” transporta grande parte da energia da onda pela superfície do oceano, também tem sido objeto de preocupação, uma vez que o seu impacto se faz sentir nas infraestruturas, tanto costeiras como no mar alto (SEMEDO, [s.d.]). Recentemente houve também um interesse no estudo da ondulação, desde a sua propagação e atenuação (ALVES, 2006; ARDHUIN *et al.*, 2009), até ao seu impacto na “camada limite oceano-atmosfera” (em inglês, *Marine Atmospheric Boundary Layer*, MABL; exemplos de investigações neste âmbito podem ser encontradas em SMEDMAN *et al.*, 1999; SULLIVAN *et al.*, 2008; SEMEDO *et al.*, 2009; SMEDMAN *et al.*, 2009; HÖGSTRÖM *et al.*, 2009; SEMEDO, 2010; SEMEDO *et al.*, 2011). A análise separada dos parâmetros da “vaga” e “ondulação” proporciona, assim, uma melhor perceção dos mecanismos de variabilidade climática no campo de ondas, tendo em conta que a “vaga” reflete somente variações no vento local, enquanto que a variabilidade da “ondulação” reflete mudanças de vento num domínio mais amplo (HOGBEN, 1995; BAUER *et al.*, 1997).



2.3. Estudos recentes no âmbito do tema

O estudo da relação entre a circulação atmosférica de larga escala e o clima de agitação marítima no Atlântico Norte não é um trabalho recente. Efetivamente muitas investigações têm sido realizadas neste sentido, nomeadamente para o mar Mediterrâneo e para os mares que banham o Norte da Europa. Neste sub-capítulo é apresentada uma breve descrição de alguns trabalhos recentes realizados no âmbito da temática em estudo. Por exemplo, em 2001, BAUER (2001) investigou, através do modelo WAM (*WAVE Model*) e para o período de 1981 a 1993, o estado médio do mar (em inglês, *mean sea state*) no Atlântico Norte e no mar do Norte, por meio do parâmetro Altura Significativa da onda, e os seus modos de variabilidade, correlacionando-o com o índice *NAO*. Um ano depois, WOOLF et al. (2002a) realizaram um estudo com o objetivo de relacionar a altura média das ondas no Atlântico Norte com a *NAO*. Nesse mesmo ano, estes investigadores (WOOLF et al., 2002b) estudaram a relação entre o clima de ondas nas ilhas britânicas e o índice *NAO*, nos meses de inverno. No ano a seguir, WOOLF & TSIMPLIS (2003) estudaram a influência da *NAO* no nível do mar (em inglês, *sea level*) para o mar Mediterrâneo e para o mar Negro. Um ano depois, YAN et al. (2004) efetuaram uma análise da relação entre a *NAO* e as alterações no nível do mar no Noroeste europeu. Em 2010, CAÑELLAS et al. (2010) levaram a cabo uma investigação relativa à influência da *NAO* no clima de ondas no Noroeste do mar Mediterrâneo, através dos dados (do projeto HIPOCAS - *Hindcast of Dynamic Process of the Ocean and Coastal Areas of Europe*) do parâmetro Altura Significativa da onda e da ferramenta estatística Percentil 95, no período de 1958 a 2001. Mais adiante, em 2012, DANGENDORF et al. (2012) investigaram a ligação entre a variabilidade intra e inter anual do nível médio das águas do mar e o índice *NAO* na reentrância (em inglês, *bight*) da costa Norte da Alemanha (Mar do Norte). Ainda nesse ano, SEMEDO et al. (2012) apresentaram um estudo do clima de ondas à escala global, no qual um modelo de ondas global (WAM) é conduzido pelo Forçamento Atmosférico, a partir de um modelo climatológico global (ECHAM5), para as condições do clima presente e futuro, com base no cenário de emissão A1B do *Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC). Já BASTOS et al. (2013) realizaram um estudo que permitiu tirar conclusões relativas à influência da *NAO* no nível do mar, no mar Báltico.



Para a área da ZEE portuguesa, foram realizados, efetivamente, alguns trabalhos que envolvem estudos do clima de agitação marítima, com recurso a observações registadas pelas estações (boias) ondógrafo e/ou com recurso a modelos numéricos. Por exemplo, COSTA & ESTEVES ([s.d.]), com base nos dados adquiridos pelas boias ondógrafo direcionais de Leixões e de Sines, realizaram uma caracterização sumária do clima de agitação marítima para a costa Oeste de Portugal Continental, através do estabelecimento das condições médias globais e sazonais, e das condições extremas. Também COSTA *et al.* ([s.d.]) apresentam uma caracterização sumária do clima de agitação marítima, usando toda a informação relativa às boias da Figueira da Foz, Sines e Faro, onde são caracterizadas as condições médias globais, as condições médias sazonais e as condições extremas, na costa Oeste e na costa Sul de Portugal. Já PEREIRA (2008) realizou um estudo que permitiu caracterizar o clima de agitação marítima em zonas costeiras, na qual a simulação do estado do mar foi feita através do alinhamento de dois modelos numéricos de propagação e geração de ondas nos vários tipos de profundidades: WAM e SWAN (*Simulating WAves Nearshore*), que foram validados através de dados reais fornecidos por uma boia do Instituto Hidrográfico mantida ao largo de Peniche, entre 1980 e 1985. Um ano depois, FARIA (2009) realizou uma dissertação de Mestrado integrada num projeto de implementação de um sistema operacional de reconstituição e previsão da agitação marítima na costa portuguesa, no qual utilizou o modelo SWAN, desde a escala oceânica até à escala costeira e local. Neste estudo, foram validados os campos de velocidade do vento, obtidos por dois projetos de reanálise de dados meteorológicos: o projeto NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (Reanalysis-2) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP); e o projeto *ERA-Interim* do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*), sendo que os dados meteorológicos foram validados comparando os resultados da altura significativa da onda e da direção média de propagação associada ao período de pico, obtidos por simulação, com os registos da boia de Leixões, para dois meses de inverno 1993/1994 (dezembro de 93 e janeiro de 94). Mais à frente, em 2010, RUSU *et al.* (2010) realizaram um trabalho cujo objetivo era apresentar um sistema de previsão da agitação marítima que se encontra operacional no Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC) do Instituto Superior Técnico (IST), e de avaliar o desempenho desse sistema em situações de temporal. O sistema está baseado no modelo WAM, para a área de geração, e SWAN para a área de transformação, junto à costa,



forçados pelos modelos atmosféricos GFS (*Global Forecast System*) e MM5 (*Mesoscale Meteorological Model*). A avaliação dos resultados do sistema de previsão foi realizada através da comparação das previsões dos parâmetros de ondas com medições realizadas por uma boia ondógrafo posicionada na entrada do estuário do Tejo. Ainda nesse ano, BENTO et al. (2010) avaliaram estados de mar para os portos de Faro e Setúbal, assim como os resultados de vento no Porto de Sines, enquadrado no projeto MARPORT, baseado em informação produzida pelos modelos MM5 (campos de vento) e WAM (ondulação), que posteriormente forçaram o modelo SWAN. Neste estudo foram feitas validações dos resultados dos modelos regionais SWAN e MM5 com registos reais, com dados de boias ondógrafo pertencentes ao IH, no caso do SWAN, enquanto que no caso do MM5 os registos foram obtidos através do site do Porto de Sines.

No entanto, nenhum estudo detalhado da relação entre a circulação atmosférica de larga escala e o clima de agitação marítima foi realizado para a área da ZEE portuguesa até então, com a exceção de SEMEDO (2005), que, na sua tese de mestrado, estudou a influência da *NAO* no regime de ondas extremas em Portugal, com recurso aos dados de boias ondógrafo situadas na costa portuguesa (o qual não foi perseguido com o devido detalhe). Também ESTEVES et al. (2010) realizaram um estudo onde caracterizaram eventos extremos de agitação marítima, que foram responsáveis pela destruição de várias infraestruturas na orla costeira (originados a partir de uma alteração nos padrões de circulação atmosférica no Atlântico Norte, durante o inverno de 2009-2010) a partir de observações registadas pelas estações ondógrafo, bem como os resultados dos modelos de previsão da agitação marítima. No entanto, este foi um caso pontual, pelo que não foi abordado um longo período de tempo.

Assim, a presente dissertação de mestrado, ao estudar a relação entre o clima de agitação marítima e o forçamento atmosférico de larga escala em toda a ZEE portuguesa, pretende efetuar uma investigação mais detalhada da influência da *NAO* no clima de ondas em Portugal, em certa medida, complementando o trabalho de SEMEDO (2005).



3. O OCEANO E AS ONDAS

Neste capítulo, O OCEANO E AS ONDAS, são apresentados conceitos e definições associados a esta dissertação: é abordada a diferença entre vaga e ondulação, define-se a Oscilação do Atlântico Norte, faz-se uma breve caracterização da agitação marítima na costa portuguesa, e apresentam-se algumas definições elementares da teoria e da mecânica das ondas.

3.1. Considerações gerais

Os fenómenos ondulatórios são estudados em quase todos os ramos da ciência. As ondas são tipicamente distúrbios numa determinada instância, incluindo, por exemplo, ondas eletromagnéticas (como a luz ou as ondas de rádio), movimentos de moléculas de gás (ondas sonoras) e movimentos em sólidos (ondas sísmicas; HORAN & LAVELLE, 2005).

A superfície do mar tem uma configuração bastante complexa. As ondas na superfície do mar assumem formas irregulares, que estão constantemente a variar devido à sobreposição das mesmas por outras, com diferentes frequências e direções de propagação. Pode-se afirmar então, que o estado do mar, num dado local e instante, é definido pelo conjunto das características das ondas nesse local e nesse momento (IM, 2004).

As ondas gravíticas de superfície (a partir daqui simplesmente designadas por “ondas”) representam a fronteira entre a atmosfera e o oceano. Trata-se do fenómeno mais óbvio e fundamental nos processos de interação ar-mar, sendo o vento o agente de atuação por excelência (SEMEDO, s.d.). As ondas são caracterizadas, genericamente, pela sua altura (ou amplitude) e pelo seu período; as forças atuantes são o vento (força geradora) e a gravidade (força restauradora), contando com mais de metade da energia transportada por todas as ondas na superfície do oceano. Quando o vento sopra sobre a superfície do mar, as ondas são geradas pela transferência de parte da energia do vento, sob a forma de momento, da atmosfera para a água. À medida que o vento atua sobre a superfície do mar, rapidamente perturba a água e forma pequenas ondas, com comprimentos quase insignificantes. Se o vento continuar a soprar, a ação do vento contra estas pequenas ondas faz com que haja variações de pressão ao longo do perfil da



onda, determinando o seu crescimento. São desenvolvidas, então, as ondas. Tendo em conta que os ventos sopram sempre sobre algumas porções da vasta superfície do oceano, as ondas estão sempre presentes na superfície do oceano (PEREIRA, 2008; SEMEDO *et al.*, 2009; SEMEDO, s.d.). Os tipos de ondas e a forma como estas ondas se propagam na superfície do oceano será o tema abordado no sub-capítulo 3.2.

Em ambientes costeiros, quando as ondas se propagam em direção à linha de costa são influenciadas pela topografia do fundo do mar, pelas correntes e por obstáculos naturais ou construídos pelo homem. As principais transformações das ondas são a reflexão, refração, difração, *shoaling*, rebentação e espraçamento (SORENSEN, 1997). As ondas são, igualmente, um dos principais, senão o principal, agente físico que intervêm na dinâmica dos ambientes costeiros, representando a mais constante fonte de energia mecânica para esses ambientes. Sendo assim, as ondas são o principal agente natural que modifica direta ou indiretamente a linha de costa de uma região costeira (DEAN & DALRYMPLE, 1991), tendo de igual forma um papel importante nos processos climáticos, nas trocas de calor, energia, gases e partículas entre o oceano e a atmosfera (WMO, 1998).

3.2. Vaga e ondulação

Existem dois tipos de ondas na superfície do oceano, comumente designadas por “vaga” e “ondulação”. Durante o processo de geração e crescimento das ondas, designam-se por vaga. As vagas são ondas geradas localmente que recebem energia do vento, pelo que estão fortemente ligadas ao campo de vento local. A vaga tem um aspeto irregular e espetro largo (as suas componentes agrupam-se em direções e períodos diferentes), com cristas angulosas e ondas de várias direções, normalmente centradas na direção do vento. À medida que as ondas se propagam para fora da sua área de geração, ou quando a sua velocidade de fase é superior à velocidade do vento envolvente, designam-se por ondulação. Como a ondulação é gerada remotamente, não recebe energia do vento local, e não está diretamente ligada ao campo de vento local. A ondulação tem um aspeto mais regular e um espetro mais estreito (as suas componentes agrupam-se em direções e períodos semelhantes), as cristas são mais arredondadas e as ondas têm uma direção bem definida, com períodos elevados (acima dos dez segundos) e comprimentos de onda superiores a trinta vezes a sua altura. A ondulação percorre



longas distâncias ao longo do globo, com pouca atenuação. Como a ondulação se propaga de um sítio para outro no oceano aberto, o campo de onda, numa dada altura e local, é na maior parte das vezes, o resultado das contribuições de ondas com diferentes frequências e direções, refletindo diferentes origens e idades. No mesmo local podem aparecer simultaneamente várias ondulações, com diversas direções, provenientes de áreas de geração diferentes (MUNK, 1947; SVERDRUP & MUNK, 1947; BARBER & URSELL, 1948; PIERSON *et al.*, 1953; SNODGRASS *et al.*, 1966; IM, 2004).

Os processos de troca de energia e “momento” entre a superfície do oceano e a MABL são diferentes, dependendo do regime de onda predominante. Durante os processos de crescimento, as ondas atuam como “travão” no vento à superfície e o fluxo de energia é direcionado para o oceano. À medida que as ondas se propagam para fora da sua área de geração, como ondulação, alguma desta energia é devolvida à atmosfera, principalmente nas latitudes mais baixas, alterando a estrutura de turbulência da MABL (SEMEDO, s.d.).

3.3. A Oscilação do Atlântico Norte

Uma das técnicas que permite caracterizar a influência de determinados padrões de circulação no clima à superfície é a análise de índices de circulação. A observação de séries temporais destes índices permite analisar a variabilidade da circulação atmosférica em regiões específicas. Na bacia do Atlântico Norte, o índice que melhor representa os padrões de circulação atmosférica é a *NAO* (ESTEVES, 2010), representando igualmente o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica no Hemisfério Norte (WALKER, 1924; WALKER & BLISS, 1932). Embora a *NAO* ocorra durante todo o ano, é durante o inverno que ela exerce particularmente influência (WANNER, 2001). O índice *NAO* foi inicialmente proposto por WALKER (1924), e representa, ao nível do mar, uma diferença de pressão à superfície, normalizada, medida entre o centro de altas pressões subtropical (Açores) e o centro de baixas pressões subpolar (Islândia; ROGERS, 1984), definindo-se como:

$$\text{Índice } NAO = \frac{P_{\text{real}}(\text{Açores}) - P_{\text{médio da série}}(\text{Açores})}{\sigma(\text{Açores})} - \frac{P_{\text{real}}(\text{Islândia}) - P_{\text{médio da série}}(\text{Islândia})}{\sigma(\text{Islândia})} \quad (1)$$



onde P é a pressão atmosférica e σ é o desvio padrão da pressão atmosférica (TRIGO *et al.*, 2004). A Figura B1 do anexo B ilustra a variação do índice *NAO*, no período de tempo considerado nesta dissertação para o estudo do clima de agitação marítima (1979 – 2012).

Um índice *NAO* positivo revela uma forte presença do centro de altas pressões subtropical do Atlântico Norte, que força a circulação depressionária para trajetórias acima dos 40° N. Esta anomalia da diferença de pressão resulta no aumento de frequência e intensidade das tempestades no Atlântico Norte subpolar, particularmente no inverno, e mais a Norte do que a trajetória normal da tempestade extratropical ao longo do Atlântico Norte. Isto dá origem a “ventos de Oeste” (em inglês, *westerlies* ou *westerly winds*) mais fortes que o normal, a invernos húmidos no Norte da Europa e invernos secos e mais frios no Sul da Europa. Por sua vez, um índice *NAO* negativo está relacionado com um enfraquecimento do anticiclone dos Açores, e a trajetória das tempestades extratropicais encontra-se mais a Sul do que a média, dando origem a ventos de Oeste mais fracos que o normal, sendo o Norte da Europa mais seco e o Sul mais húmido, com elevada frequência de eventos de Sudoeste e Oeste (WANNER *et al.*, 2001; SEMEDO, 2005; LAJOIE, 2006; ESTEVES, 2010).

Existem, no entanto, outras definições e outras formas de calcular o índice *NAO* (informações mais detalhadas encontram-se em WANNER *et al.*, 2001). Por exemplo, HURRELL (1995b, 1996) definiu o índice *NAO* como a diferença entre a pressão média ao nível do mar, normalizada, especialmente nos meses de inverno (dezembro a março) em Lisboa, Portugal, e em Stykkisholmur, Islândia (HURRELL, 1995b).

Surgem, também, algumas controvérsias no que diz respeito à influência do oceano na *NAO*, na medida em que há estudos que referem que o oceano é o fator dominante na variabilidade da *NAO*, e outros que, contrariamente, referem que é a *NAO* que influencia o oceano. Por exemplo, HURRELL *et al.* (2003) afirmam que o oceano Atlântico é influenciado pela *NAO*, na medida em que alterações no vento de superfície (através da *NAO*) têm influência na transferência de calor e nas trocas de água na superfície do oceano, que alteram a circulação termoalina e a circulação horizontal. Já RODWELL *et al.* (1999) defendem que os fenómenos de evaporação e precipitação, e os processos de transferência de calor na atmosfera dependem da temperatura da superfície do Atlântico.



3.4. Teoria Básica de onda

3.4.1. Parâmetros estudados nesta dissertação

A altura significativa da onda, introduzida inicialmente por SVERDERUP & MUNK (1947), é definida como a média da terça parte das ondas de maior altura, registadas durante o tempo considerado.

Se a altura significativa for calculada a partir de um conjunto de dados (por exemplo de uma boia), fazendo a média do terço das ondas de maior altura, o acrónimo que é normalmente utilizado é $H_{1/3}$. Por outro lado, se for calculada através de um espetro de ondas, a partir do momento zero (a definir em baixo), o acrónimo utilizado é H_{m0} . No entanto, o acrónimo geral acaba por ser H_s .

A área sob o espetro (o momento zero, ou a variância do campo de ondas) tem um significado físico, com aplicação prática para a definição dos parâmetros de onda derivados a partir do espetro.

O momento zero é definido como:

$$m_0 = \iint f^0 F(f, \theta) df d\theta \quad (2)$$

Assim,

$$H_{m0} = 4.04 \sqrt{m_0} \quad (3)$$

O período de uma onda é definido como o tempo que duas cristas sucessivas (ou duas cavas) levam a passar por um ponto fixo. O Período Médio da Onda, T_m , corresponde à média dos períodos observados durante um determinado tempo de observação. Representa o período típico das ondas registadas durante esse tempo. O Período médio da onda, usado no presente estudo, é contabilizado a partir do primeiro momento espectral (m_1), com base no momento de primeira ordem da elevação da superfície do mar,



$$m1 = \iint f^1 F(f, \theta) df d\theta \quad (4)$$

sendo definido por

$$T_m = \frac{m1}{m0} \quad (5)$$

Informações mais detalhadas das diferentes formas e derivações do período médio da onda podem ser encontradas em OCHI (2008) e WMO (1998).

O período de pico, T_p (inverso da frequência de pico) corresponde ao período de onda de maior energia no espetro de ondas. O período de pico permite caracterizar o período associado ao sistema de ondas predominante.

É definido como

$$T_p = \frac{2\pi \times C_p}{g} \quad (6)$$

em que g é a aceleração gravítica ($9,8 \text{ m s}^{-2}$), e C_p é a velocidade de fase, calculada por:

$$C_p = \frac{L}{T} \quad (7)$$

em que L corresponde ao comprimento da onda e T corresponde ao período.

A direção média de propagação, θ_m (ao longo desta dissertação, a direção média de propagação das ondas é por vezes definida igualmente por *MWD – Mean Wave Direction*), representa a média ponderada da direção de origem da totalidade do espetro de energia, medida em graus em relação ao Norte geográfico, com valor positivo no



sentido da rotação dos ponteiros do relógio (ou seja, a direção média de propagação da frente de onda).

A direção media de propagação, θ_m , é definida como:

$$\theta_m = \text{atan} \frac{SF}{CF} \quad (8)$$

em que

$$SF = \iint \sin \theta F(f, \theta) df d\theta \quad (9)$$

e

$$CF = \iint \cos \theta F(f, \theta) df d\theta \quad (10)$$

Existem vários critérios de separação de vaga e ondulação. Para entender um destes critérios, é necessário conhecer o parâmetro “idade da onda”.

Sabendo que a velocidade de fase é

$$C_p = \frac{g \times T_p}{2\pi} \quad (11)$$

tem-se o critério da idade da onda (*Wave Age*, *WA*) definido por:

$$WA = \frac{C_p}{U_{10}} \quad (12)$$



sendo U_{10} a velocidade do vento aos dez metros de altitude. O WA é usado, então, para aferir se o campo de ondas é dominado pela vaga ou pela ondulação. De seguida são mencionadas duas variantes deste critério. O primeiro é baseado no espetro de onda desenvolvido por PIERSON & MOSKOWITZ (1964). De acordo com este critério, se

$$\frac{c_p}{U_{10}} < 1,2 \quad (13)$$

então o campo de ondas é dominado pela vaga. Caso contrário, se

$$\frac{c_p}{U_{10}} > 1,2 \quad (14)$$

então o campo de ondas é dominado pela ondulação. Assim sendo, a probabilidade do campo de onda ser dominado pela vaga é definida por

$$P\left(\frac{c_p}{U_{10}} < 1,2\right) \quad (15)$$

e a probabilidade do campo de onda ser dominado pela ondulação é definida por

$$P\left(\frac{c_p}{U_{10}} > 1,2\right) \quad (16)$$



Existe um outro critério, no qual a WA é definida pela C_p , que é normalizada pela velocidade de fricção u^* (SMITH, 1992). De acordo com este critério, se

$$\frac{C_p}{u^*} < 30 \quad (17)$$

então o mar é dominado por vaga. mPor outro lado, se

$$\frac{C_p}{u^*} > 30 \quad (18)$$

então o mar é dominado por ondulação.





4. DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo, DADOS E METODOLOGIA, faz-se uma breve introdução aos dados das boias ondógrafo e aos dados da reanálise *ERA-Interim*, e apresenta-se a metodologia utilizada na realização deste trabalho científico.

4.1. Os dados das boias ondógrafo

O projeto de caracterização do clima de agitação marítima da costa portuguesa (projeto ONDMAR) remonta ao ano de 1979, tendo sido o IH a entidade responsável, embora com o apoio de várias instituições nacionais. No período de 1979 a 1986, foram estabelecidas várias estações (boias) não-direcionais, localizadas no Continente e nas Regiões Autónomas, e recolhido um grande volume de dados de agitação marítima, na sua maior parte processados e publicados pelo IH. No ano de 1986 foi lançada a primeira boia direcional, a Sul de Faro, e em 1987 foi atribuído financiamento para o projeto PO-WAVES, apoiado pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (em inglês, *North Atlantic Treaty Organization*, NATO), através do programa *Science for Stability*, que veio proporcionar uma grande visibilidade à importância deste estudo (COSTA & ESTEVES, [s.d.]).

As três boias ondógrafo, que fazem a aquisição dos dados utilizados nesta dissertação, são fabricadas pela DATAWELL e situam-se na costa continental portuguesa (ao largo de Leixões, Sines e Faro). Em condições normais a aquisição de dados é efetuada de 3 em 3 horas por períodos de 20 minutos, sendo que, no entanto, em condições de temporal (H_s maior que 5 metros em Leixões e Sines, e maior que 3 metros em Faro), a aquisição é efetuada cada 30 minutos. Os dados adquiridos são sujeitos a testes de validação por um recetor DIREC. A gravação só é efetuada quando a qualidade dos dados é considerada aceitável. O computador instalado na estação recetora em terra tem, ainda, um processamento paralelo de forma a assegurar o arranque da gravação contínua de dados, caso se verifique uma situação de temporal. O programa informático lê os dados das boias e grava-os num ficheiro circular com o comprimento de quatro dias. Nesse ficheiro está registada a média de cada 10 minutos para os seguintes parâmetros: altura significativa, altura máxima, período médio,



período máximo observado, período da onda de altura máxima, direção da onda, e ainda a temperatura da água do mar (BAPTISTA *et al*, 2002; SEMEDO, 2005).

No âmbito desta dissertação de Mestrado, foram consideradas, como referido anteriormente, as seguintes boias (de realçar que a boia de Leixões sofreu uma alteração de posição no ano de 1996; ver Tabela 1 e Figura 2):

Estação/boia	Latitude	Longitude	Profundidade	Observações
LEIXÕES a)	41° 12' 12'' N	009° 05' 18'' W	110 metros	De 28 de julho de 1993 a 04 de julho de 1996
LEIXÕES b)	41° 19' 00'' N	008° 59' 00'' W	83 metros	De 17 de julho de 1996 até ao presente
SINES	37° 55' 16'' N	008° 55' 44'' W	97 metros	-
FARO	36° 54' 17'' N	007° 53' 54'' W	93 metros	-

Tabela 1 – considerações gerais das estações utilizadas nesta dissertação

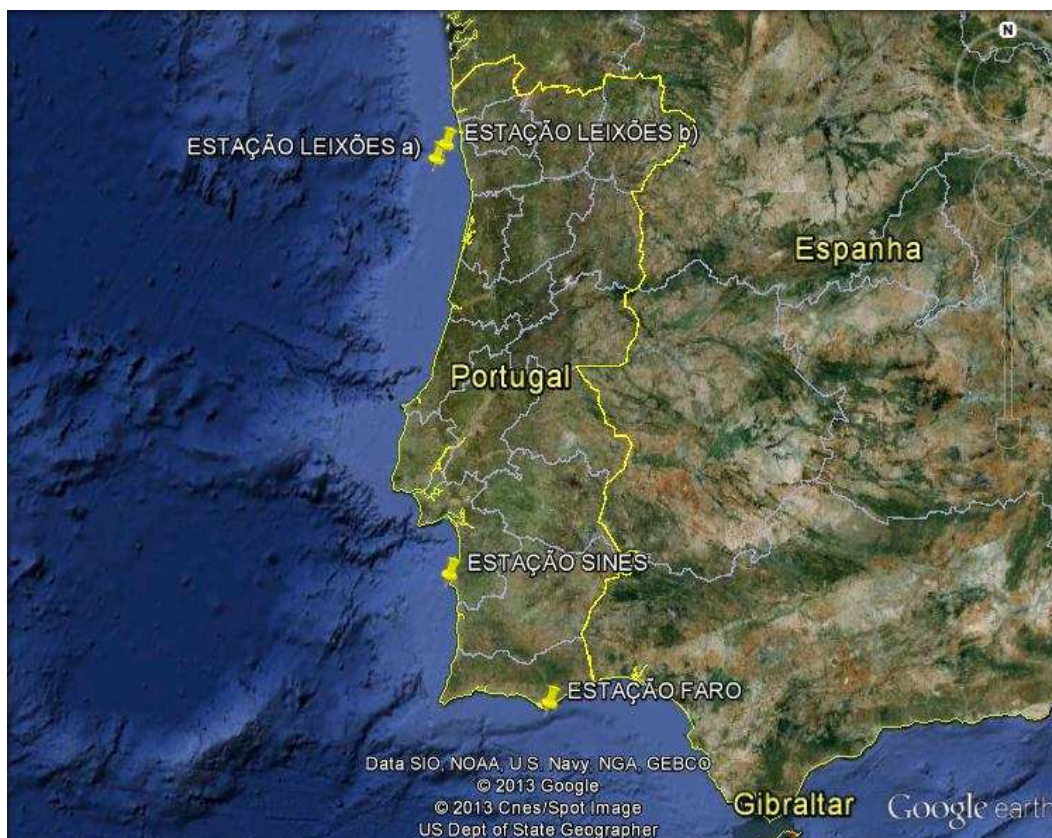


Fig. 2 – Localização geográfica das estações/boias; GOOGLE EARTH, 2013.



4.2. A reanálise *ERA-Interim*

A caracterização do clima de agitação nas zonas costeiras baseava-se até há bem pouco tempo em medições de boias colocadas em locais estratégicos da costa. Apesar das observações por parte das boias serem as observações do estado da agitação marítima mais fidedignas (STERL & CAIRES, 2005), este método apresenta-se com algumas limitações, já que a caracterização do clima de agitação se cinge à zona específica de instalação da boia, para além da capacidade de previsão ser insuficiente na caracterização das interações entre a ondulação e qualquer obra de proteção da zona costeira, ou mesmo para a regularização dos fundos (FARIA, 2009).

Assim, atualmente, opta-se, em muitos dos casos, por modelos numéricos para simulação da agitação marítima, que são a representação de um fenómeno, geralmente caracterizado por um conjunto de equações com condições de fronteira. O estudo climático de agitação marítima requer a recolha e análise de dados durante um período de tempo bastante longo, pelo que é necessário desenvolver um modelo que represente os processos de geração, propagação e transformação das ondas os quais, apoiados em programas computacionais, permitem conhecer as condições do mar e em qualquer ponto de uma dada área geográfica, fornecendo assim uma cobertura bem mais ampla que as boias (PEREIRA, 2008; FARIA, 2009).

Desde 1979, o ECMWF vem fornecendo arquivos de análises e previsões, os quais se revelam importantes fontes de dados para os investigadores. Devido às dificuldades de se obter séries de dados meteorológicos longas e contínuas para o planeta (como um todo), diversos centros de previsão do tempo e clima oferecem produtos de reanálise.

Os dados de reanálise atmosférica compreendem um conjunto de processos onde são obtidas séries de dados meteorológicos, através da assimilação de um histórico de dados (que combina previsões anteriores com novas observações) observados em todo o planeta, com o objetivo de estudar a variação do tempo (meteorológico) e clima, durante um longo período de tempo. O intuito principal destas séries está na obtenção de uma descrição completa de uma atmosfera em constante mudança, o mais homogênea possível (informações mais detalhadas encontram-se em STERL, 2004; STERL & CAIRES, 2005).



O ECMWF produziu no passado recente três produtos de reanálise anteriores à *ERA-Interim: First GARP (Global Atmospheric Research Program) Global Experiment (FGGE)*; foi a primeira reanálise do ECMWF, criada em 1979), *ERA-15* e *ERA-40* (UPPALA *et al.* 2005; STERL & CAIRES, 2005; CAIRES *et al.*, 2004).

A mais recente reanálise atmosférica à escala global é o *ECMWF Re-Analysis Interim (ERA-Interim)*. O *ERA-Interim* foi inicialmente descrito, como uma reanálise, do período de 1989 até ao presente, de nova geração com o intuito de substituir o *ERA-40*, sendo recentemente estendido para mais uma década, para o ano de 1979, com tendência para novas atualizações (DEE & UPPALA, 2008; DEE *et al.*, 2011). Os seus produtos incluem uma grande variedade de parâmetros (incluindo os parâmetros de onda H_s , T_m , T_p e MWD), cujos dados são adquiridos a cada 3 horas, no que diz respeito ao estado da atmosfera, estado do mar e da superfície terrestre, em “grelhas” (*grids*) de 1,5° de Latitude por 1,5° de Longitude. Ao nível dos parâmetros de onda, estes são derivados de um modelo de ondas de terceira geração, o WAM, indicado para simulações em escala oceânica (HEMER *et al.*, 2012).

A reanálise *ERA-Interim* surgiu, então, com o objetivo de, em primeiro lugar, ultrapassar as dificuldades na assimilação de dados, encontradas durante a produção do *ERA-40* (relacionadas na sua maioria com a representação do ciclo hidrológico, a qualidade da circulação estratosférica, e a consistência em tempo do campos geofísicos reanalisados); em segundo lugar, melhorar nos vários aspetos técnicos da reanálise, como a seleção de dados e controlo de qualidade, os quais têm um impacto crucial na qualidade dos produtos finais de reanálise (informações mais detalhadas sobre a reanálise *ERA-Interim* e a versão do modelo utilizada encontram-se em HASSELMANN *et al.*, 1988; KOMEN *et al.*, 1994; COURTIER *et al.*, 1998; BIDLOT *et al.*, 2002; BIDLOT *et al.*, 2007; DEE & UPPALA, 2008; DEE *et al.*, 2011).



4.3. Metodologia

De modo a alcançar o objetivo desta dissertação, foram percorridas as seguintes etapas de trabalho:

Etapa 1 – Recolha de dados

A recolha de dados decorreu durante o mês de novembro do ano de 2012, sendo a entidade responsável pelo fornecimento dos dados o IH. Foram obtidos dados de boias ondógrafo, correspondentes ao período de 1990 a 2011 (Estação de Leixões: de 1993 a 2011; Sines e Faro: de 1990 a 2011), dos parâmetros H_s , T_m , T_p e MWD . Esta etapa terminou com a elaboração de tabelas com a percentagem dos registos observados das boias, anual e sazonal, a fim de, caso necessário, se poderem tirar conclusões tendo em consideração os intervalos de tempo em que as boias não recolheram dados, por motivos de avaria ou mudança de local, e que podem, de certa forma, influenciar determinados resultados. As Tabelas 2 e 3 mostram a percentagem de observações existentes, anuais e sazonais, no intervalo de tempo considerado.

A Tabela 2 apresenta os registos de observações anuais e gerais respeitantes a cada boia. Pode observa-se que a boia de Sines é a estação que apresenta a maior percentagem de dados (95,08%) no intervalo de tempo considerado. Já a boia ao largo de Leixões é a estação que apresenta a menor percentagem de observações (84,21%). Ainda relativamente a esta última boia, só existem registos a partir do ano de 1993.



Boias	Leixões		Sines		Faro	
Ano	nº de meses com observações	Percentagem	nº de meses com observações	Percentagem	nº de meses com observações	Percentagem
1990			12	100,00%	11	91,67%
1991			11	91,67%	11	91,67%
1992			11	91,67%	9	75,00%
1993	6	50,00%	10	83,33%	6	50,00%
1994	11	91,67%	9	75,00%	8	66,67%
1995	3	25,00%	9	75,00%	9	75,00%
1996	10	83,33%	11	91,67%	11	91,67%
1997	11	91,67%	12	100,00%	12	100,00%
1998	11	91,67%	12	100,00%	12	100,00%
1999	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
2000	4	33,33%	12	100,00%	12	100,00%
2001	7	58,33%	12	100,00%	12	100,00%
2002	11	91,67%	12	100,00%	12	100,00%
2003	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
2004	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
2005	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
2006	11	91,67%	11	91,67%	11	91,67%
2007	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
2008	12	100,00%	12	100,00%	11	91,67%
2009	12	100,00%	11	91,67%	12	100,00%
2010	11	91,67%	12	100,00%	12	100,00%
2011	12	100,00%	12	100,00%	12	100,00%
TOTAL	192	84,21%	251	95,08%	243	92,05%

Tabela 2 – Registos de observações anuais e totais respeitantes a cada boia.

Na Tabela 3 são apresentados os registos de observações sazonais respeitantes a cada boia. Em Leixões, os meses de outono são os que apresentam maior número de observações válidas (89,47%). Por outro lado, em Sines, são os meses de verão que apresentam maior número de registos (96,97%). Já em Faro, a primavera é a estação do ano com maior percentagem de observações registadas (98,48%).



Boias	Leixões		Sines		Faro	
Estação do ano	nº de meses com observações	Percentagem	nº de meses com observações	Percentagem	nº de meses com observações	Percentagem
INVERNO	45	78,95%	62	93,94%	60	90,91%
PRIMAVERA	47	82,46%	62	93,94%	65	98,48%
VERÃO	49	85,96%	64	96,97%	62	93,94%
OUTONO	51	89,47%	63	95,45%	56	84,85%
TOTAL	192	84,21%	251	95,08%	243	92,05%

Tabela 3 – Registos de observações sazonais respeitantes a cada boia.

Etapas 2 – Tratamento e análise dos dados

Nesta etapa, fez-se uma análise do clima de agitação marítima, caracterizada pelos seus valores de H_s , T_m , T_p e MWD , através do tratamento estatístico de dados. Posteriormente, estudou-se a relação entre os valores dos parâmetros de agitação marítima e o forçamento atmosférico de larga escala.

a) Séries temporais dos parâmetros

Em primeiro lugar, foram criadas séries temporais relativas a valores médios mensais dos parâmetros H_s , T_m , T_p e MWD , para cada estação, no período de 1990 a 2011, inclusive. Em segundo lugar, foram criadas séries temporais sazonais relativas a valores médios mensais dos mesmos parâmetros, para o mesmo intervalo de tempo, de cada uma das boias ondógrafo. Para cada estação do ano foram considerados os seguintes meses: março, abril e maio (MAM) para a primavera; junho, julho e agosto (JJA) para o verão; setembro, outubro e novembro (SON) para o outono; dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) para o inverno. A atribuição destes meses às diferentes estações do ano tem como base de referência o *STANDARDISED VERIFICATION SYSTEM FOR LONG-RANGE FORECASTS* da WMO (2006).

Foram igualmente calculados os percentis (95) para H_s , T_m e T_p , com o objetivo de estimar e tirar conclusões relativas aos valores extremos nas séries temporais criadas.



Seguidamente, de modo a relacionar os dados da agitação marítima com padrões de circulação atmosférica, foi introduzido o índice *NAO* nas séries temporais, a fim de se poderem estabelecer relações entre a média do índice positivo / negativo da *NAO* e o parâmetro em causa. Esta etapa terminou com a realização de uma tabela onde estão representados os valores médios dos parâmetros (Tabela A1, do anexo A). Os dados relativos ao Índice *NAO* utilizados foram retirados do *website* do *Climate Prediction Center* do *National Weather Service* da NOAA.

b) Coeficiente de correlação entre os parâmetros e o Índice *NAO*

Foi calculado o coeficiente de correlação entre os parâmetros H_s e T_m e o Índice *NAO*, em primeiro lugar para todo o período, em segundo lugar ano a ano e, em terceiro lugar para cada estação do ano. Seguidamente, repetiu-se o mesmo processo, mas correlacionando os parâmetros em causa com valores positivos e negativos do Índice *NAO*.

c) Análise da variabilidade dos parâmetros

Em primeiro lugar, foram criadas tabelas dos valores diários do desvio-padrão (de H_s e T_m) para a série temporal inteira (Leixões: 1993 – 2011; Sines e Faro: 1990 - 2011), bem como para cada estação do ano. Seguidamente, foram elaborados gráficos de barras onde se apresentam os valores médios, para cada mês, do desvio-padrão dos parâmetros em estudo.

Posteriormente, foram elaborados histogramas onde se mostra a série temporal do desvio padrão dos meses correspondentes a cada estação do ano, dos parâmetros em estudo, para cada boia. Esta etapa terminou com a criação de uma tabela onde é representada a média do desvio padrão sazonal, relativo a valores mensais, dos parâmetros.



d) Histogramas de frequências relativas dos parâmetros e Funções densidade de probabilidade

Inicialmente, foram criados histogramas de avaliação da frequência relativa dos parâmetros H_s , T_m e MWD , para todos os valores da série temporal (independentemente do Índice NAO), e depois para os valores em que o Índice NAO correspondente é positivo ou negativo. Em segundo lugar, repetiu-se o mesmo processo para a componente sazonal. Por fim, elaboraram-se histogramas conjuntos das três boias (funções densidade de probabilidade), para todos os valores da série temporal (independentemente do Índice NAO), e posteriormente para os valores em que o Índice NAO correspondente é positivo ou negativo.

e) Estudo do clima de ondas em toda a ZEE Portuguesa, com utilização de dados de reanálise de ondas *ERA-Interim*

Nesta alínea, através de dados da reanálise de ondas *ERA-Interim*, foi estudado o clima de ondas em toda a ZEE Portuguesa. O período de cobertura desta reanálise começa em 1979 e termina em 2010, e contempla a área geográfica delimitada, ao nível da latitude pelos paralelos 20° N e 50° N, e ao nível da longitude pelos meridianos 0° e 40° W. Com esta última fase, pretendeu-se alargar o estudo do forçamento atmosférico de larga escala do clima de agitação marítima para toda a ZEE Portugal (o qual não tinha sido feito apenas com os dados das boias, visto estas se encontrarem ao largo de Portugal Continental). À semelhança da análise dos parâmetros das boias de acordo com o índice NAO , foram estudados separadamente os valores médios anuais e sazonais (só para DJF e JJA), em primeiro lugar, dos parâmetros H_s , T_m e MWD , em segundo lugar, dos mesmos parâmetros nos períodos de regime NAO positivo (NAO^+) e, em terceiro lugar, nos períodos de regime NAO negativo (NAO^-).





5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, ANÁLISE DOS RESULTADOS, são apresentados os resultados obtidos e respetiva análise, de acordo com a metodologia utilizada.

5.1. Séries temporais dos parâmetros das boias em função do índice *NAO*

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam as séries temporais, relativas a valores médios mensais, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para as boias de Leixões, Sines e Faro, respetivamente. Nestas Figuras são igualmente representados, como linhas, o percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), a média dos parâmetros, e a média dos parâmetros para os regime NAO^+ e NAO^- . A Tabela A1 (em anexo) contém os valores das médias acima referidas. O percentil 95 é utilizado com o intuito de poderem ser tiradas conclusões sobre eventuais valores extremos; já os valores médios dos parâmetros para os dois regimes *NAO* foram calculados de modo a poderem ser feitas comparações entre valores dos parâmetros para regime NAO^+ e para regime NAO^- , na medida em que os regimes atmosféricos são diferentes consoante o sinal do índice *NAO*.

Conforme pode ser observado na Figura 3, na boia de Leixões as médias dos valores de H_s (Figura 3a), T_m (Figura 3b), T_p (Figura 3c), são ligeiramente mais elevadas no regime NAO^+ (2,33 m, 7,15 s, e 11,42 s, respetivamente) do que no regime NAO^- (2,27 m, 6,75 s, e 10,86 s, respetivamente), ainda que as diferenças entre os valores médios de H_s no regime NAO^+ não sejam muito diferentes das verificadas no regime NAO^- , apesar de, como esperado, serem superiores. No que diz respeito aos valores médios da MWD (Figura 3d) na boia de Leixões é notório que na zona Norte de Portugal o “mar é de Oeste” (sensivelmente entre 280° e 310° , com um valor médio de 304°). Verifica-se que, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- , provêm de Oeste-Noroeste (WNW), embora haja uma ligeira diferença (307° em regime NAO^+ , e 301° em regime NAO^-), refletindo uma proveniência da agitação marítima mais de norte no caso do regime NAO^+ do que no regime NAO^- . No que diz respeito a valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), observa-se que para H_s os valores apresentam-se acima dos 4 m, acima dos 9 s para T_m , e acima dos 14 s para T_p .

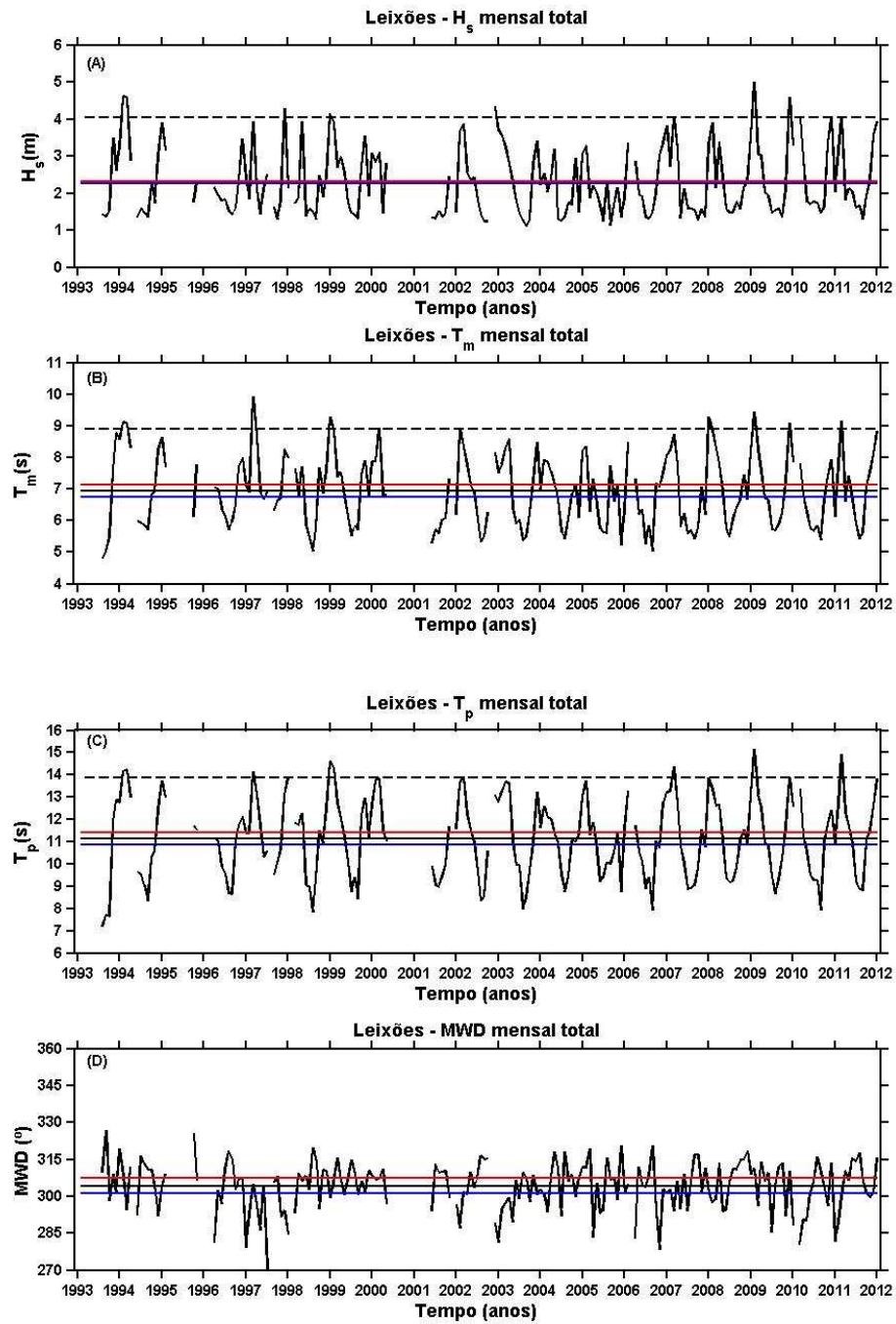


Fig. 3 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^\circ$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

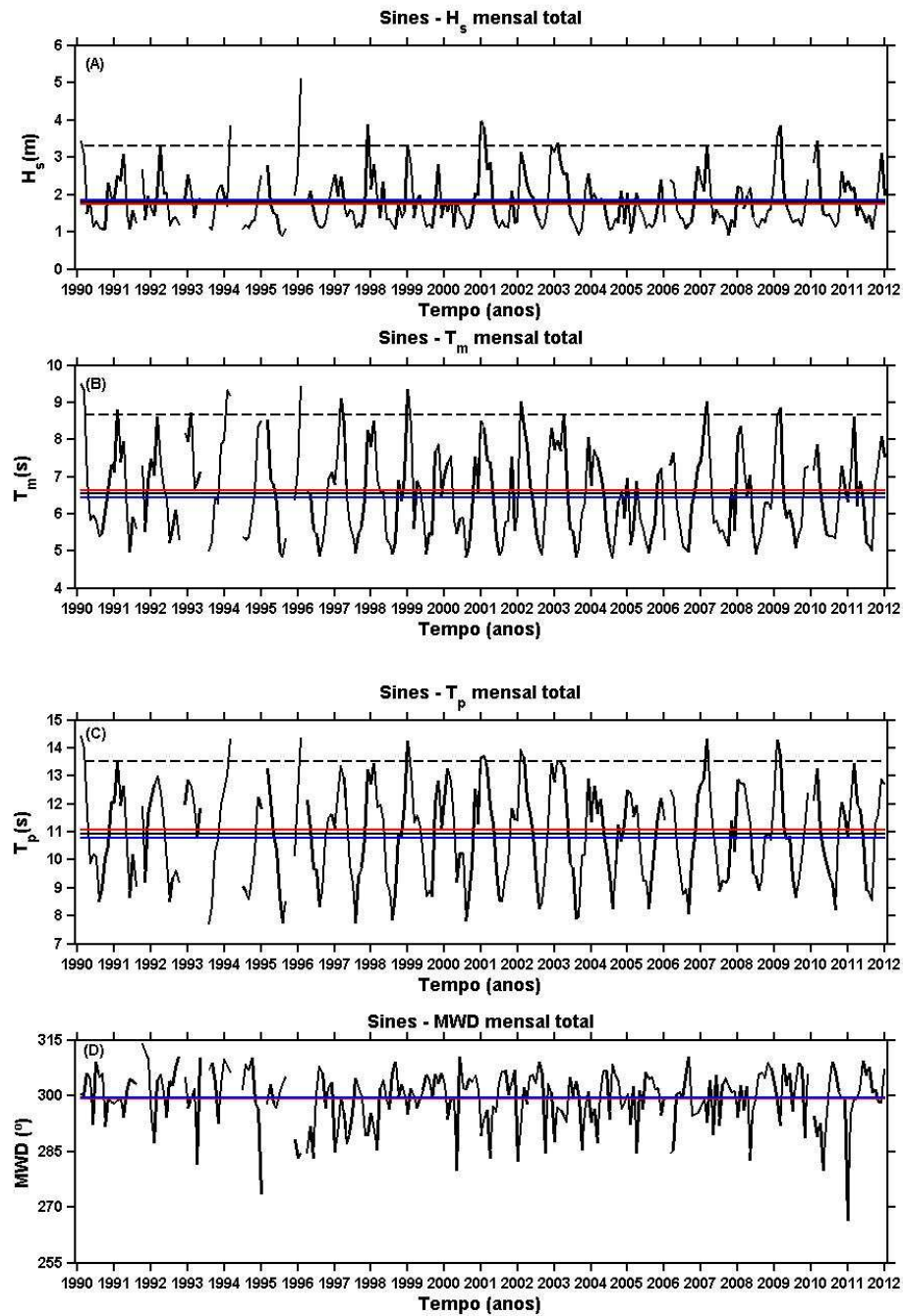


Fig. 4 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



Nas séries temporais referentes a valores médios mensais para a boia de Sines (Figura 4) observa-se que as médias dos valores de H_s (Figura 4a) são agora mais baixas no regime NAO^+ , do que no regime NAO^- , comparativamente à boia de Leixões, ainda que as diferenças entre os valores médios de H_s nos dois regimes não seja, igualmente, muito significativa (1,73 m e 1,86 m, respetivamente). Relativamente às médias dos valores de T_m (Figura 4b) e T_p (Figura 4c), à semelhança de Leixões, estas são superiores no regime NAO^+ (6,63 s e 11,07 s, respetivamente) e inferiores no regime NAO^- (6,43 s e 10,78 s, respetivamente). No que diz respeito à direção média (Figura 4d) constata-se que, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- , os valores de MWD são de Oeste (W; 299, aproximadamente). Não há, assim, diferença na direção média das ondas medida na boia de Sines entre os dois regimes da NAO . Por outro lado, no que diz respeito ao percentil 95 de H_s , T_m e T_p , verifica-se que para H_s os valores são superiores a 3,4 m, para T_m são superiores a 8,7 s, e em T_p são superiores a 13,5 s, sendo todos eles inferiores à boia de Leixões.

A Figura 5 contém as séries temporais relativas a valores médios mensais de H_s , T_m , T_p , e MWD , para a boia de Faro. Pode observa-se que as médias dos valores de H_s (Figura 5a), T_m (Figura 5b), T_p (Figura 5c), são aqui consistentemente mais baixas no regime NAO^+ (0,97 m, 4,64 s e 7,90 s, respetivamente) do que no regime NAO^- (1,18 m, 4,81 s e 8,29 s, respetivamente). Para o parâmetro MWD (Figura 5d) observa-se que, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- , os valores médios ocupam o setor de Sudoeste (SW), embora haja uma diferença mínima entre os dois regimes (227° em regime NAO^+ , e 224° em regime NAO^-). Relativamente ao percentil 95 de H_s , T_m e T_p , observa-se que para H_s os valores apresentam-se acima dos 2,2 m, acima dos 6 s para T_m , e acima dos 11 s para T_p .

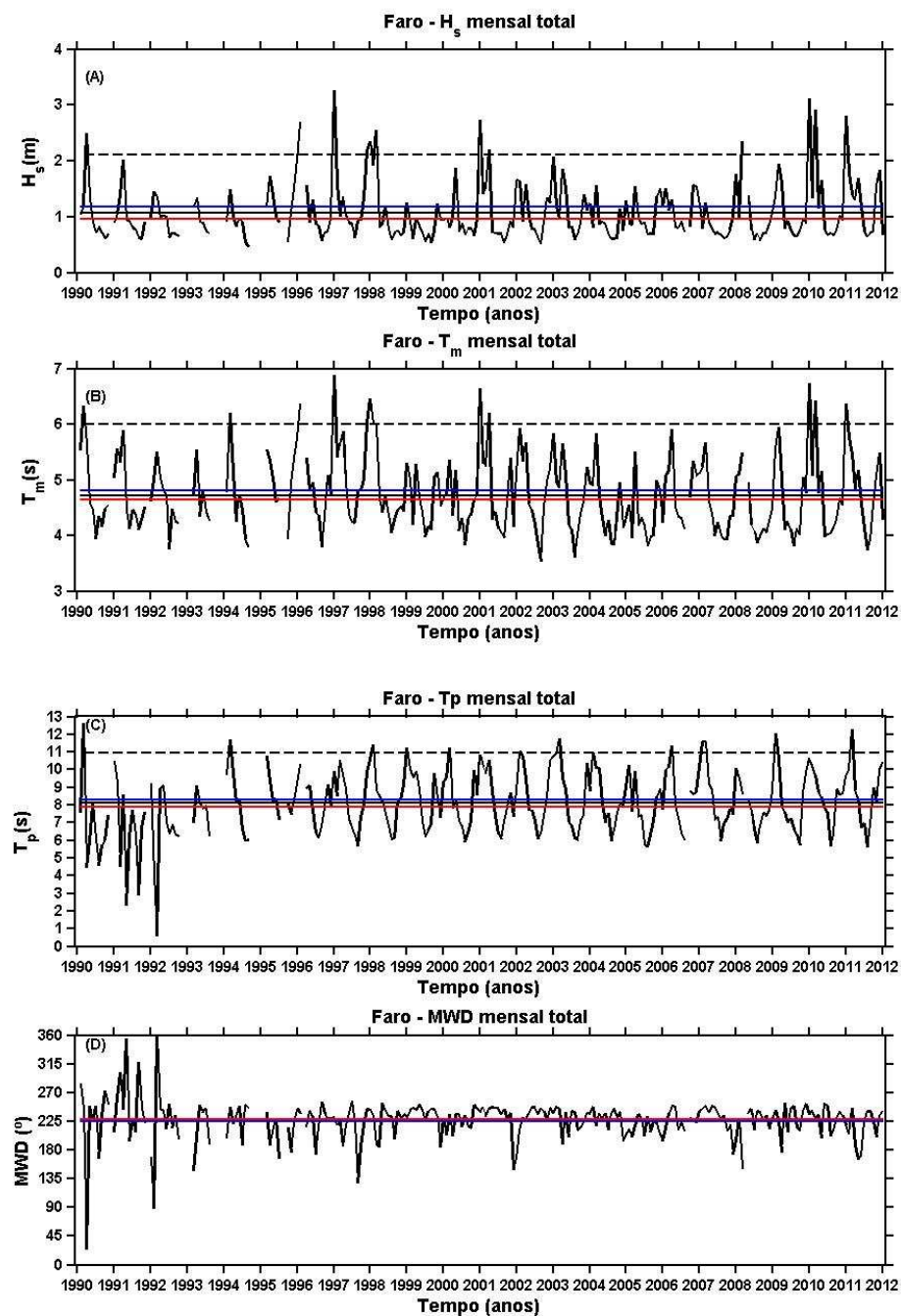


Fig. 5 – Séries temporais de médias mensais de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^\circ$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



Fazendo uma análise conjunta das três figuras anteriores (Figuras 3, 4 e 5), pode afirmar-se que os valores médios de H_s , T_m e T_p decrescem em função da diminuição da latitude (Leixões: 2,30 m, 6,93 s e 11,13 s respetivamente; Sines: 1,80 m, 6,53 s e 10,93 s respetivamente; Faro: 1,07 m, 4,72 s e 8,09 s respetivamente). Verifica-se ainda que, as médias dos valores de H_s , T_m e T_p em regime NAO^+ são, de um modo geral, superiores às médias dos valores dos parâmetros em regime NAO^- , à medida que a latitude vai aumentando, e por sua vez inferiores, à medida que a latitude vai diminuindo (em regime NAO^+ : Leixões apresenta 2,33 m, 7,15 s e 11,42 s respetivamente; Sines apresenta 1,73 m, 6,63 s e 11,07 s respetivamente; Faro apresenta 0,97 m, 4,64 s e 7,90 s respetivamente; em regime NAO^- : Leixões apresenta 2,27 m, 6,75 s e 10,86 s respetivamente; Sines apresenta 1,86 m, 6,43 s e 10,78 s respetivamente; Faro apresenta 1,18 m, 4,81 s e 8,29 s respetivamente). No caso de *MWD*, observa-se que há uma tendência para, em todas as boias, a ondulação se encontre de setores mais de Norte em regime NAO^+ (307° para Leixões, 299° para Sines e 227° para Faro), e de setores mais de Sul em regime NAO^- (301° para Leixões, 299° para Sines e 224° para Faro), embora a diferença seja pouco significativa, particularmente em Sines e Faro.

No que diz respeito aos valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95) verifica-se que estes são mais altos em Leixões, e diminuem até Faro. Para a boia de Leixões, os valores extremos estão associados, nos diferentes parâmetros, a regimes NAO^+ (Figuras 3a, 3b, 3c). Em Sines, os valores extremos de H_s estão associados, a regimes NAO^- (Figura 4a), e os valores extremos de T_m e T_p estão associados, em média, a regimes NAO^+ (Figuras 4b e 4c respetivamente). Já em Faro, os valores extremos estão associados, a regimes NAO^- (Figura 5a, 5b e 5c). Este fenómeno pode levar a crer que à medida que a latitude vai sendo cada vez menor, a ocorrência de valores extremos vai deixando de estar associada a regimes NAO^+ , passando a estar associada a regimes NAO^- .



As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as séries temporais sazonais das médias de H_s , T_m , T_p , e MWD , correspondentes a DJF, para as boias de Leixões, Sines e Faro, respetivamente. Nestas Figuras é igualmente representado o percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), a média, a média para os regimes NAO^+ e NAO^- . A Tabela A1 do anexo A apresenta os valores das médias acima referidas. As figuras de MAM e SON encontram-se igualmente no anexo A (Figuras A1 a A6).

De acordo com a Figura 6, que apresenta as séries temporais, referentes a DJF, de H_s , T_m , T_p , e MWD para a boia de Leixões, observa-se que as médias de H_s (Figura 6a), T_m (Figura 6b) e T_p (Figura. 6c) são mais elevadas no regime NAO^+ (3,51 m, 8,57 s e 13,59 s, respetivamente) do que no regime NAO^- (2,84 m, 7,65 s e 12,68 s, respetivamente). Para o parâmetro MWD (Figura 6d) constata-se que, no regime NAO^+ é, em média, de 304, enquanto que no regime NAO^- a ondulação é de 295. Por outro lado, no que diz respeito aos valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), verifica-se que para H_s os valores são superiores a 4,6 m, para T_m são superiores a 9,4 s, e em T_p são superiores a 14,7 s.

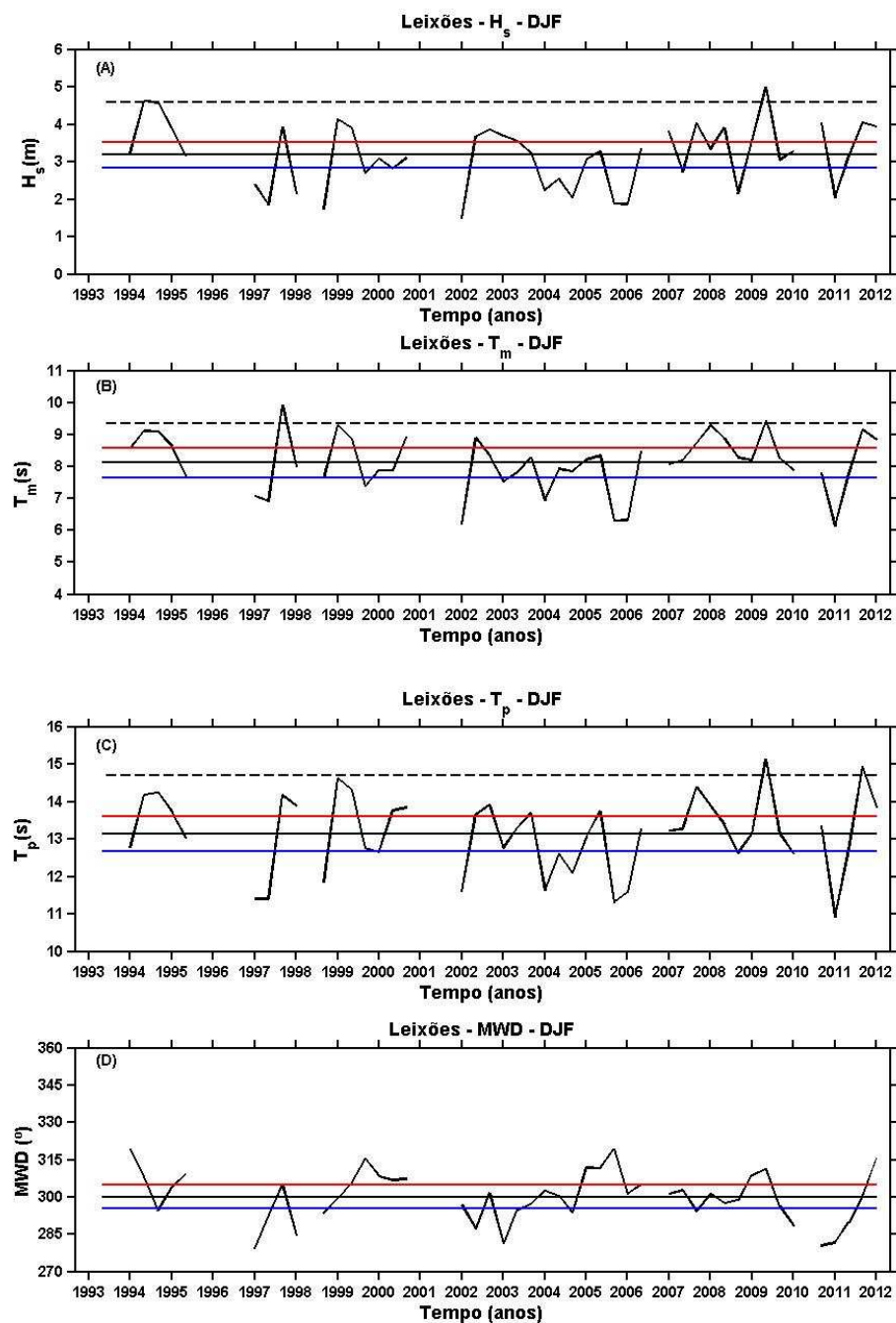


Fig. 6 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

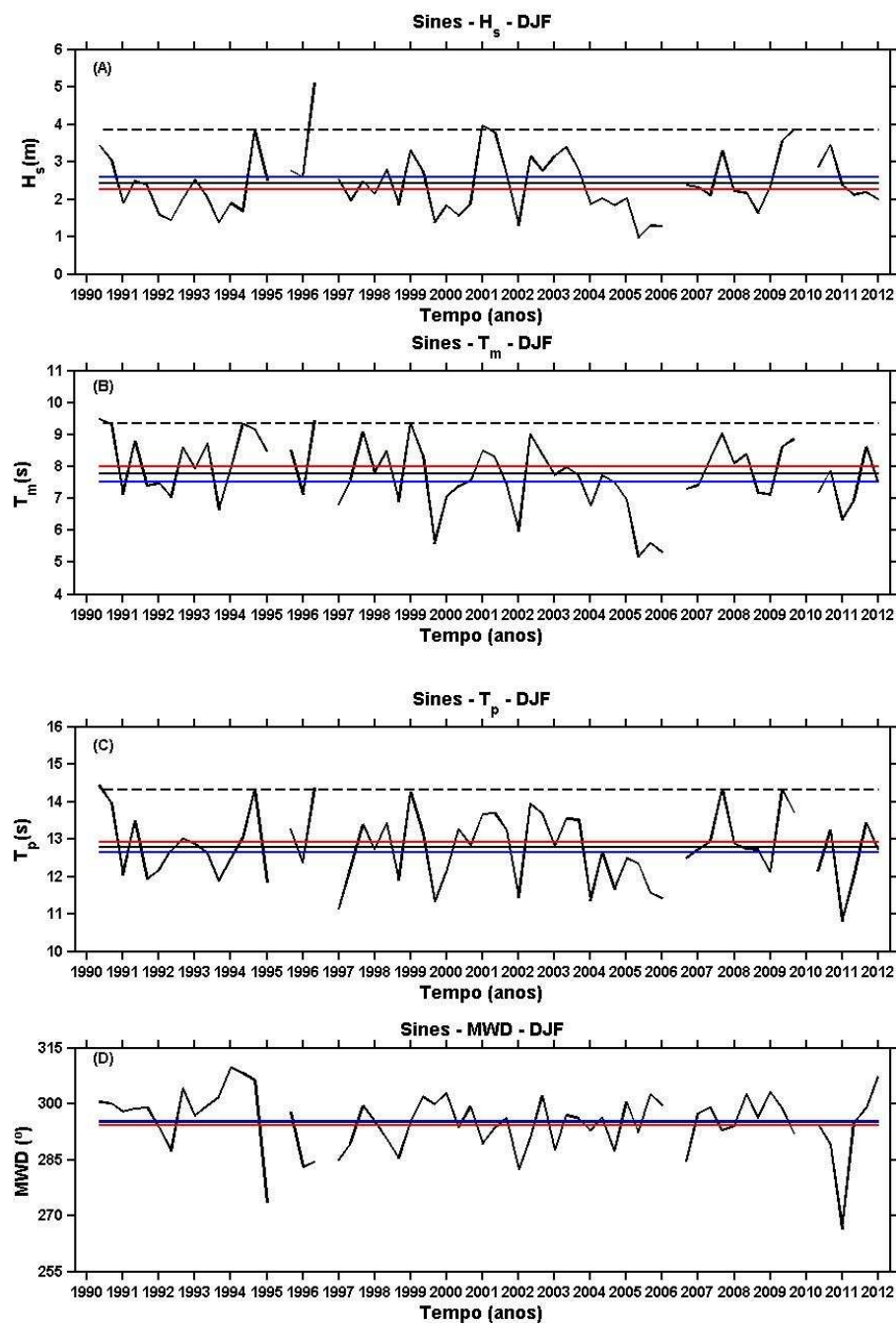


Fig. 7 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



A Figura 7 apresenta as séries temporais, relativas a DJF, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para a boia de Sines. De acordo com esta figura, observa-se que as médias de H_s (Figura 7a) são mais baixas no regime NAO^+ (2,27 m), em comparação com o regime NAO^- (2,60 m). No entanto, ocorre precisamente o contrário com as médias dos valores de T_m (Figura 7b) e T_p (Figura 7c), os quais apresentam médias superiores no regime NAO^+ (7,98 s e 12,92 s, respetivamente) e inferiores no regime NAO^- (7,51 s e 12,64 s, respetivamente). Para o parâmetro MWD (Figura 7d) verifica-se que a diferença entre regimes é mínima, encontrando-se em ambos os casos de WNW (294 no regime NAO^+ , e 295 no regime NAO^-). Relativamente aos valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), verifica-se que para H_s os valores situam-se acima dos 3,8 m, acima dos 9,2 s para T_m , e acima dos 14,3 s em T_p .

Através da Figura 8, que ilustra as séries temporais referentes a DJF, de H_s , T_m , T_p , e MWD para a boia de Faro, pode verificar-se que as médias de H_s (Figura 8a), T_m (Figura 8b), T_p (Figura 8c), são mais baixas no regime NAO^+ (1,18 m, 5,16 s e 9,57 s respetivamente), e mais elevadas no regime NAO^- (1,77 m, 5,58 s e 9,88 s, respetivamente), embora para T_p a diferença não seja significativa. Relativamente a MWD (Figura 8d) observa-se que, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- , os valores médios ocupam o setor de Sudoeste (SW), não havendo diferença entre os dois regimes (227°). No que diz respeito a valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), observa-se que para H_s os valores são superiores a 2,8 m, superiores a 6,5 s para T_m , e superiores a 12 s para T_p .

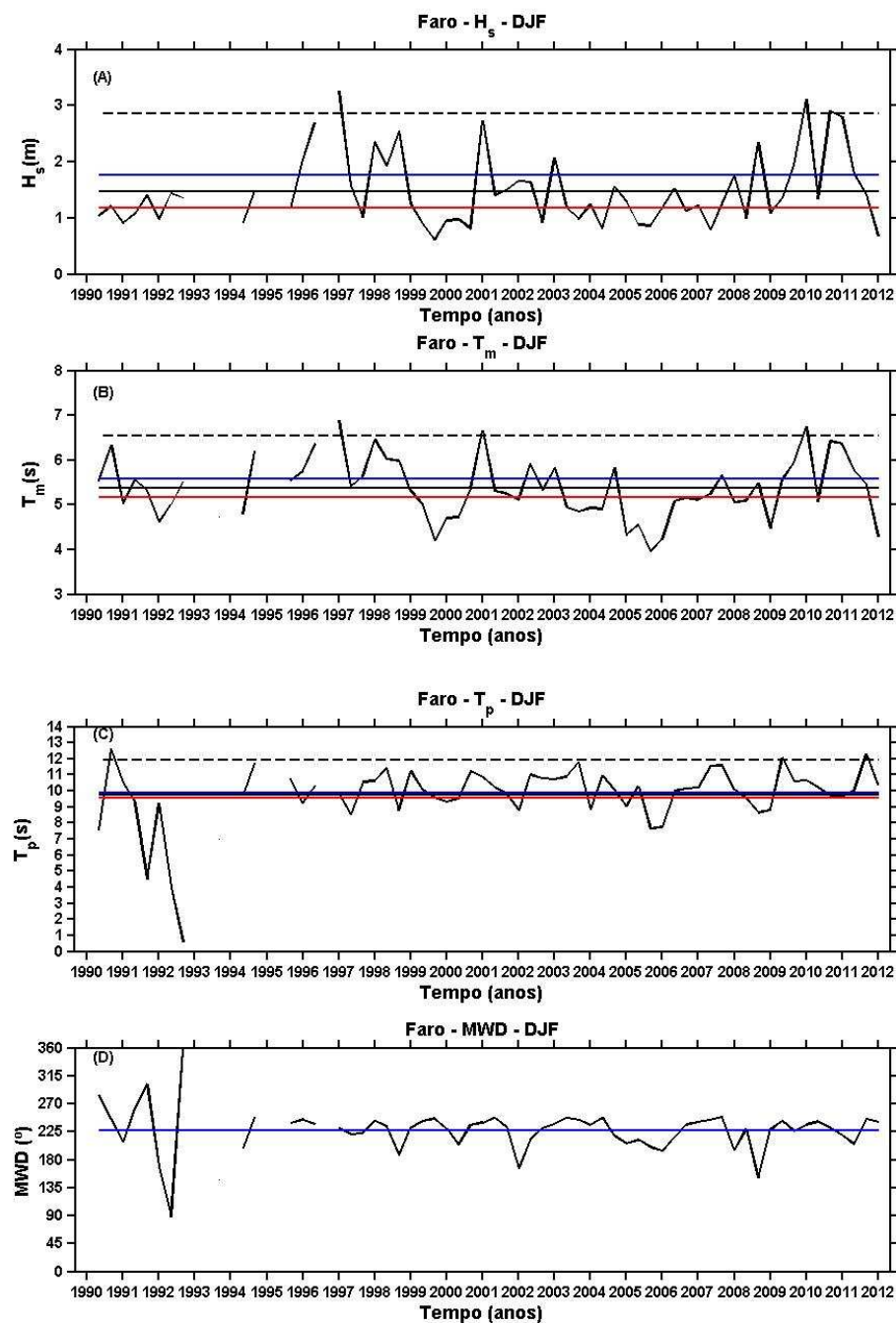


Fig. 8 – Séries temporais de médias sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



As Figuras 9, 10 e 11 apresentam as séries temporais correspondentes a JJA, das médias de H_s , T_m , T_p , e MWD , para as boias de Leixões, Sines e Faro, respetivamente. Nestas Figuras é igualmente representado o percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), a média, a média para os regimes NAO^+ e NAO^- . A Tabela A1 (em anexo) apresenta os valores das médias acima referidas.

A Figura 9 apresenta as séries temporais referentes a JJA, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para a boia de Leixões. Observa-se que as médias de H_s (Figura 9a) e T_p (Figura 9c) são mais baixas no regime NAO^+ , do que no regime NAO^- (1,42 m e 8,97 s, respetivamente para regime NAO^+ ; 1,57 m e 9,05 s, respetivamente para regime NAO^-), apesar da diferença entre regimes ser praticamente inexistente para T_p . Já os valores médios de T_m (Figura 9b) são ligeiramente mais elevados no regime NAO^+ (5,80 s), do que no regime NAO^- (5,68 s). Para o parâmetro MWD (Figura 9d) constata-se que não há uma diferença significativa entre os dois regimes, apresentando-se de Noroeste (NW) aproximadamente (310° em regime NAO^+ , e 307° em regime NAO^-). Por outro lado, no que diz respeito à ocorrência de valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), verifica-se que para H_s os valores são superiores a 1,8 m, para T_m são superiores a 6,5 s, e em T_p são superiores a 10 s.

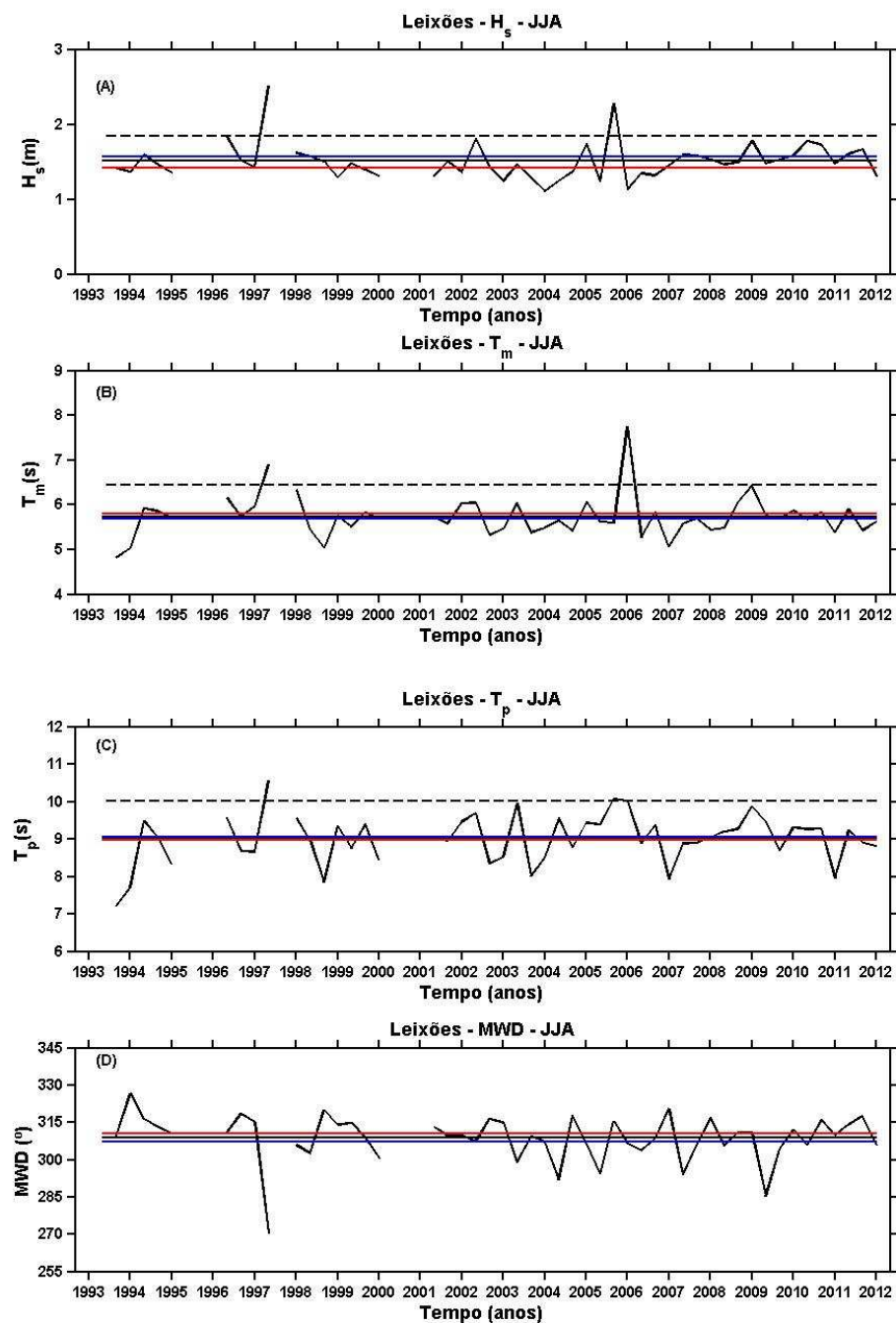


Fig. 9 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

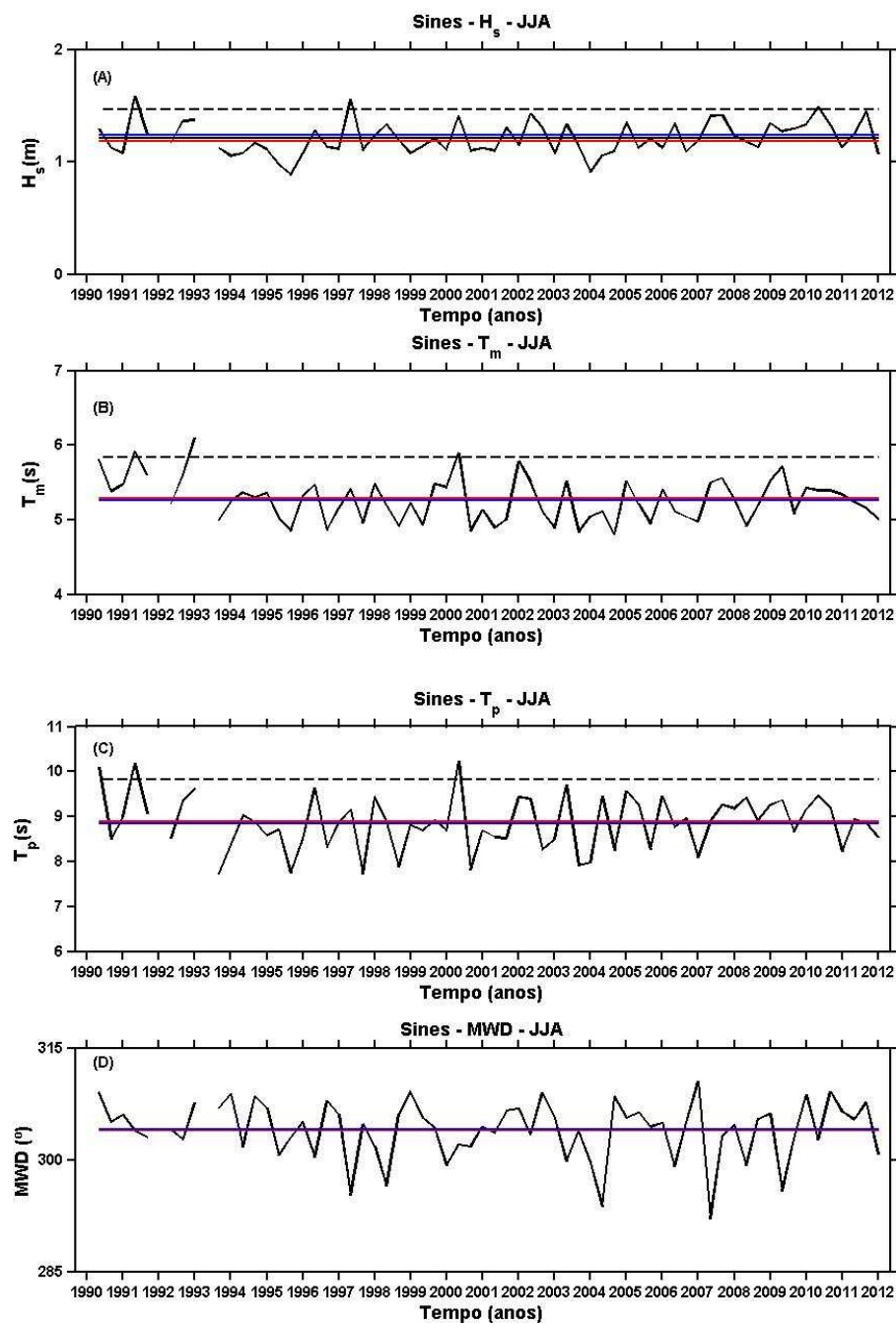


Fig. 10 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



Na Figura 10 são apresentadas as séries temporais relativas a JJA, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para a boia de Sines. De acordo com esta Figura, observa-se que as médias de H_s (Figura 10a) são mais baixas no regime NAO^+ (1,18 m), do que no regime NAO^- (1,24 m). No entanto, T_m (Figura 10b) e T_p (Figura 10c), apesar da diferença não ser muita, apresentam médias superiores no regime NAO^+ (5,28 s e 8,90 s, respetivamente) e inferiores no regime NAO^- (5,26 s e 8,83 s, respetivamente). Para o parâmetro MWD (Figura 10d) verifica-se que a diferença entre regimes é praticamente inexistente, encontrando-se do setor de NW aproximadamente (303 no regime NAO^+ , e 304 no regime NAO^-). Relativamente à ocorrências de valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), verifica-se que para H_s os valores situam-se acima dos 1,5 m, acima dos 5,8 s para T_m , e acima dos 9,8 s em T_p .

A Figura 11 contém as séries temporais, referentes a JJA, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para a boia de Faro. Pode verificar-se que as médias de H_s (Figura 11a) e T_m (Figura 11b), são ligeiramente mais elevadas no regime NAO^+ (0,72 m e 4,13 s, respetivamente), do que no regime NAO^- (0,69 m e 4,09 s, respetivamente), embora, como se pode constatar, a diferença seja mínima. No caso de T_p (Figura 11c), os valores médios são mais baixos no regime NAO^+ (6,19 s), e mais elevados no regime NAO^- (6,59 s). Relativamente a MWD (Figura 11d) observa-se, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- , de SW, apenas com uma pequena diferença entre os dois regimes (235° para regime NAO^+ , e 220° para regime NAO^-). No que diz respeito aos valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), observa-se que para H_s os valores são superiores a 0,9 m, superiores a 4,4 s para T_m , e superiores a 7,4 s para T_p .

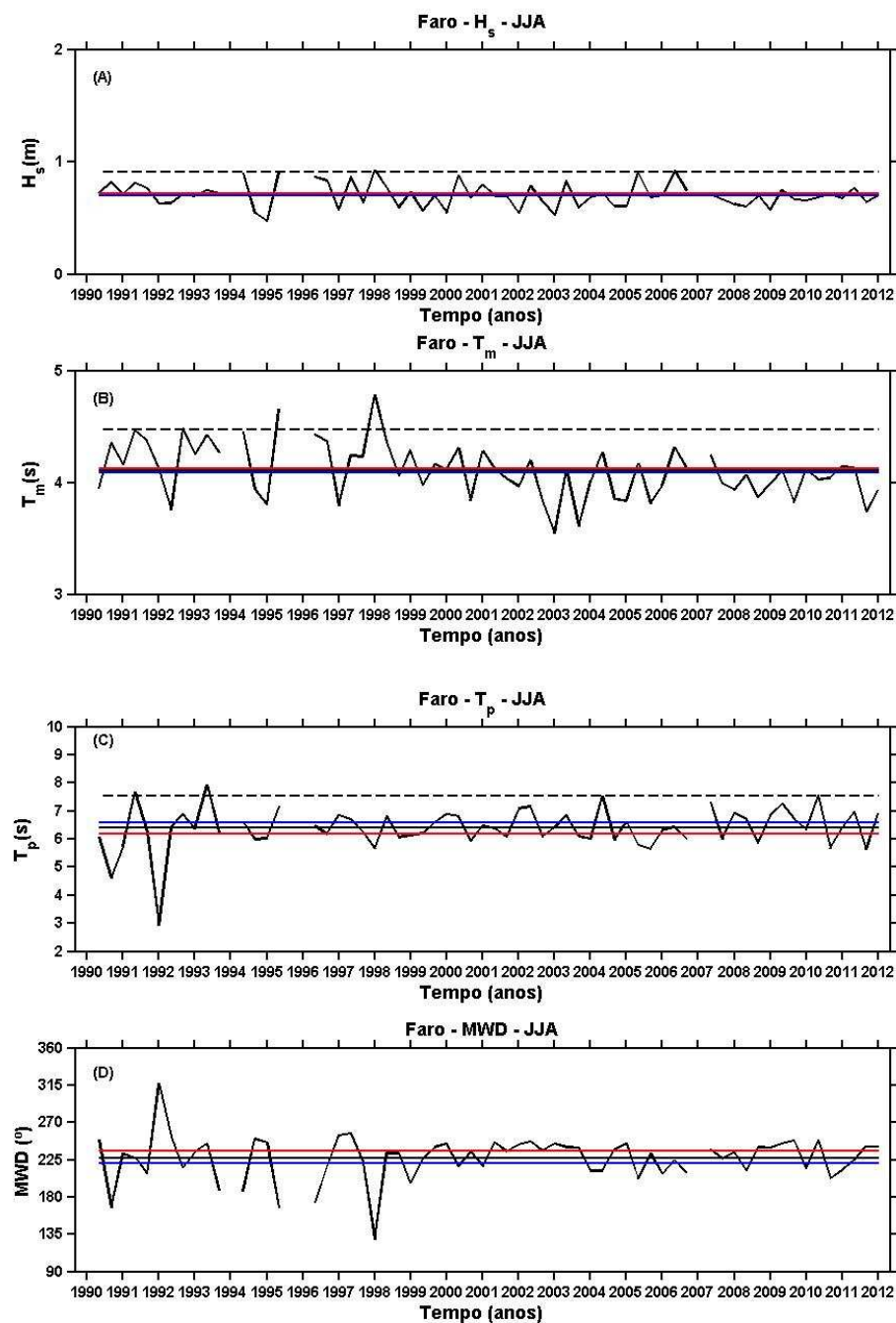


Fig. 11 – Séries temporais de médias sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



Analisando conjuntamente as Figuras 6 a 11 (e as Figuras A1 a A6, em anexo), observa-se que as médias de H_s , T_m e T_p , para cada boia, registam o seu valor máximo nos meses de inverno (em Leixões: 3,18 m, 8,12 s e 13,14 s respetivamente; em Sines 2,42 m, 7,77 s e 12,79 s respetivamente; em Faro: 1,47 m, 5,37 s e 9,73 s respetivamente), e o seu valor mínimo nos meses de verão (em Leixões: 1,51 m, 5,73 s e 9,01 s respetivamente; em Sines: 1,21 m, 5,27 s e 8,86 s respetivamente; em Faro: 0,71 m, 4,11 s e 6,39 s respetivamente). Já a *MWD*, de um modo geral, encontra-se de setores mais de Norte de verão, e de setores mais de Sul nos meses de inverno (em Leixões: 300° em DJF, 302° em MAM, 308° em JJA e 304° em SON; em Sines: 295° em DJF, 297° em MAM, 303° em JJA e 300° em SON; em Faro: 226° para DJF, 225° para MAM, 226° para JJA e 224° para SON).

No caso da boia de Leixões (Figuras 6, 9, A1 e A4), para o parâmetro H_s , só nos meses de inverno é que se verificam médias altas em regime NAO^+ (3,51 m), e baixas em regime NAO^- (2,84 m). Nas restantes estações do ano o comportamento é precisamente o oposto: verificam-se médias baixas em regime NAO^+ (em MAM 2,13 m; em JJA 1,42 m, em SON 2,15 m), e altas em regime NAO^- (em MAM 2,24 m; em JJA 1,57 m; em SON 2,58 m). Para o parâmetro T_m , verifica-se que, para qualquer estação do ano, as médias em regime NAO^+ são superiores (em DJF 8,57 s; em MAM 6,92 s; em JJA 5,80 s; em SON 7,14 s) às médias em regime NAO^- (em DJF 7,65 s; em MAM 6,76 s; em JJA 5,68 s; em SON 7,13 s). Para o parâmetro T_p , só nos meses de verão é que se verificam médias baixas em regime NAO^+ (8,97 s), e altas em regime NAO^- (9,05 s); para as restantes estações o comportamento é igual ao de T_m . Relativamente a *MWD*, esta apresenta-se de setores mais de Norte (N) em regime regime NAO^+ , e mais de Sul (S) em regime NAO^- , para qualquer estação do ano (em regime NAO^+ : regime NAO^+ 304° em DJF, 307° em MAM, 310° em JJA e 306° em SON; em regime NAO^- 295° para DJF, 298° para MAM, 307° para JJA e 302° para SON).

Na boia de Sines (Figuras 7, 10, A2 e A5), para o parâmetro H_s , independentemente da estação do ano, verificam-se valores médios médios baixos em regime NAO^+ (2,27 m em DJF, 1,71 m em MAM, 1,18 m em JJA e 1,73 m em SON), e altos em regime NAO^- (2,60 m em DJF, 1,85 m em MAM, 1,24 m em JJA e 1,85 m em SON). Para o parâmetro T_m , verifica-se que, independentemente da estação do ano, os valores médios em regime NAO^+ (7,98 s em DJF, 6,43 s em MAM, 5,28 s em JJA e 6,74



s em SON) são superiores aos valores registados em e inferiores em regime NAO^- (7,51 s em DJF, 6,43 s em MAM, 5,26 s em JJA e 6,66 s em SON). Relativamente a T_p , o comportamento é igual ao de T_m (isto é, para regime NAO^+ tem-se 12,92 s em DJF, 11,07 s em MAM, 8,90 s em JJA e 11,27 s em SON; para regime NAO^- tem-se 12,64 s em DJF, 10,91 s em MAM, 8,83 s em JJA e 10,99 s em SON). O parâmetro MWD não tem uma diferença significativa entre regimes visto os valores variarem na casa da unidade.

Em Faro (Figuras 8, 11, A3 e A6), em qualquer estação do ano, há uma forte tendência para os valores médios dos parâmetros H_s , T_m e T_p serem inferiores em regime NAO^+ (1,18 m, 5,16 s e 9,57 s respetivamente para DJF; 1,08 m, 4,69 s e 7,86 s respetivamente para MAM; 0,72 m, 4,13 s e 6,19 s respetivamente para JJA; 0,88 m, 4,57 s e 7,97 s respetivamente para SON) aos dos em regime NAO^- (1,77 m, 5,58 s e 9,88 s respetivamente para DJF; 1,18 m, 4,85 s e 8,42 s respetivamente para MAM; 0,69 m, 4,09 s e 6,59 s respetivamente para JJA; 1,08 m, 4,77 s e 8,40 s respetivamente para SON). Só nos meses de verão é que H_s e T_m têm valores médios superiores em regime NAO^+ , e inferiores em regime NAO^- . No que diz respeito a MWD , ocupa setores mais de N em regime NAO^+ , e setores mais de S em regime NAO^- , em JJA (235° e 220° respetivamente). Em MAM e SON verifica-se o contrário (MAM: 218° e 232° respetivamente; SON: 223° e 227° respetivamente), e em DJF não há qualquer diferença.

No que diz respeito aos valores extremos de H_s , T_m e T_p (percentil 95), verifica-se que:

- Os meses de inverno, para as três boias, são os meses do ano em que se registam os valores mais elevados; os meses de verão são, por sua vez, os meses do ano em que se registam os valores mais baixos. A boia de Leixões é a boia que regista valores extremos mais elevados de H_s , T_m e T_p , seguindo-se Sines, e em último, Faro, para todas as estações do ano (respetivamente, em Leixões: 4,6 m, 9,4 s, 14,7 s para DJF, 3,25 m, 8,25 s e 13 s para MAM, 1,8 m, 6,5 s e 10 s para JJA e 4,24 m, 8,5 s e 13 s para SON; em Sines: 3,8 m, 9,2 s, 14,3 s para DJF, 2,5 m, 8 s e 12,5 s para MAM, 1,5 m, 5,8 s e 9,8 s para JJA e 3 m, 8,25 s e 13 s para SON; em Faro: 2,8 m, 6,5 s, 12 s para DJF, 2 m, 6 s e 10 s para MAM, 0,9 m, 4,4 s e 7,4 s para JJA e 1,5 m, 5,5 s e 10 s para SON).



- Nos meses de inverno, em Leixões, os valores extremos estão associados, em média, a regimes NAO^+ , havendo tendência para, nos meses de verão estarem associados a regimes NAO^- . Em Sines, os valores extremos do parâmetro H_s , independentemente da estação do ano, estão associados a regimes NAO^- , e os valores extremos dos parâmetros T_m e T_p estão associados a regimes NAO^+ . Em Faro, para qualquer estação e para qualquer parâmetro, os valores extremos estão associados a regimes NAO^- .

5.2. Correlação entre os parâmetros H_s e T_m e o índice NAO

Os coeficientes de correlação entre H_s e T_m e o Índice NAO foram calculados com o objetivo de analisar a influência entre a circulação atmosférica de larga escala e a agitação marítima medida nas boias em causa.. Nas Tabelas 4 a 8 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação entre os parâmetros H_s e T_m e o Índice NAO , bem como para períodos de regime NAO^+ ou NAO^- .

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO .

Coeficiente de correlação	Leixões	Sines	Faro
NAO, H_s	0,09	-0,04	-0,24
NAO, T_m	0,26	0,14	-0,15

Tabela 4 – Coeficiente de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO .

De acordo com a Tabela 4, a correlação entre os valores médios mensais de H_s e T_m e os valores mensais do índice NAO é relativamente baixa, para as três boias (Leixões: 0,09 e 0,26 respetivamente; Sines: -0,04 e 0,14 respetivamente; Faro: -0,24 e -0,15 respetivamente). O coeficiente de correlação, ainda assim, vai diminuindo de Leixões até Sines, passando inclusive para valores negativos (o que indica uma inversão dos valores, ou seja, uma variável tende a aumentar de valor e a outra tende a diminuir), de Sines até Faro (aumentando, no entanto, em módulo).



Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO , separadamente para períodos de regime NAO^+ e NAO^- .

Coeficiente de correlação (NAO^+)	Leixões	Sines	Faro
NAO^+, H_s	0,15	0,05	0,01
NAO^+, T_m	0,18	0,10	-0,01
Coeficiente de correlação (NAO^-)	Leixões	Sines	Faro
NAO^-, H_s	0,05	0,02	-0,22
NAO^-, T_m	0,16	0,10	-0,19

Tabela 5 - Coeficientes de correlação entre as médias mensais dos parâmetros H_s e T_m e os valores mensais do Índice NAO , separadamente para períodos de regime NAO^+ e NAO^- .

Através da Tabela 5, verifica-se que em períodos de índice NAO^+ o coeficiente de correlação é maior em Leixões (0,15 e 0,18) e Sines (0,05 e 0,10), e menor em Faro (0,01 e -0,01); em períodos de índice NAO^- , a boia de Faro é a que regista a correlação mais forte (-0,22 e -0,19).

A Tabela 6 contém os coeficientes de correlação entre H_s e o índice NAO , e T_m e o índice NAO , para cada ano. Salienta-se que, em Leixões, o ano de 1993 onde foi registado o maior coeficiente de correlação entre os valores de H_s e o índice NAO (0,52), e o ano de 1995 para os valores de T_m e o índice NAO (0,85). Para a boia de Sines, o ano de 1993 foi o ano em que se verificou a correlação mais forte entre os valores de H_s e o índice NAO (0,71), e entre os valores de T_m e o índice NAO (0,82). Já para a boia de Faro, também o ano de 1993 foi ano em que foi obtida a correlação mais forte entre os valores de H_s e T_m e o índice NAO (0,56 e 0,38 respetivamente). No entanto, ainda para esta boia, verifica-se que, em módulo, o valor mais elevado do coeficiente de correlação foi registado nos anos de 2001 e 1996, entre os valores de H_s e o índice NAO (-0,70), e entre os valores de T_m e o índice NAO (-0,71), respetivamente.



Ano	Coefficiente de correlação	Leixões	Sines	Faro
1990	NAO, H_s		0,18	0,27
	NAO, T_m		0,04	0,21
1991	NAO, H_s		0,14	-0,38
	NAO, T_m		0,30	-0,23
1992	NAO, H_s		0,26	-0,02
	NAO, T_m		0,11	0,09
1993	NAO, H_s	0,52	0,71	0,56
	NAO, T_m	0,80	0,82	0,38
1994	NAO, H_s	0,16	-0,01	-0,33
	NAO, T_m	0,11	0,02	-0,38
1995	NAO, H_s	0,33	-0,19	-0,42
	NAO, T_m	0,85	-0,04	-0,24
1996	NAO, H_s	-0,49	-0,45	-0,64
	NAO, T_m	-0,55	-0,51	-0,71
1997	NAO, H_s	0,08	-0,21	-0,43
	NAO, T_m	0,40	0,11	-0,03
1998	NAO, H_s	0,24	0,34	0,13
	NAO, T_m	0,37	0,49	0,30
1999	NAO, H_s	0,04	0,00	0,07
	NAO, T_m	0,06	0,05	-0,05
2000	NAO, H_s	0,25	-0,10	-0,34
	NAO, T_m	0,84	0,29	-0,07
2001	NAO, H_s	0,39	-0,27	-0,70
	NAO, T_m	0,14	-0,23	-0,59
2002	NAO, H_s	-0,27	-0,15	-0,47
	NAO, T_m	-0,19	-0,23	-0,31
2003	NAO, H_s	-0,02	-0,09	-0,31
	NAO, T_m	0,14	0,12	0,05
2004	NAO, H_s	0,10	-0,14	-0,13
	NAO, T_m	-0,06	-0,19	-0,44
2005	NAO, H_s	0,10	-0,63	-0,60
	NAO, T_m	0,27	-0,50	-0,54
2006	NAO, H_s	0,11	0,02	-0,18
	NAO, T_m	0,15	-0,09	-0,50
2007	NAO, H_s	-0,16	-0,34	-0,04
	NAO, T_m	0,03	-0,16	-0,30
2008	NAO, H_s	0,33	0,18	0,26
	NAO, T_m	0,63	0,57	0,33
2009	NAO, H_s	-0,13	-0,10	-0,33
	NAO, T_m	-0,02	-0,01	-0,32
2010	NAO, H_s	-0,51	-0,61	-0,65
	NAO, T_m	-0,38	-0,52	-0,66
2011	NAO, H_s	0,45	0,45	0,31
	NAO, T_m	0,64	0,65	0,34

Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre H_s e o índice NAO , e entre T_m e o índice NAO , para cada ano.



As Tabelas 7 e 8 apresentam os coeficientes de correlação, para as diferentes estações do ano entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO , bem como separadamente para os períodos de regime NAO é positivo e negativo.

A Tabela 7 apresenta os coeficientes de correlação para as diferentes estações do ano entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO .

Meses do ano	Coefficiente de correlação (sazonal)	Leixões	Sines	Faro
DJF	NAO, H_s	0,32	-0,20	-0,63
	NAO, T_m	0,52	0,24	-0,44
MAM	NAO, H_s	0,07	-0,04	-0,07
	NAO, T_m	0,27	0,72	-0,14
JJA	NAO, H_s	-0,17	-0,20	0,08
	NAO, T_m	0,20	0,09	0,11
SON	NAO, H_s	-0,21	-0,05	-0,32
	NAO, T_m	0,05	0,09	-0,30

Tabela 7 - Coeficientes de correlação, para as diferentes estações do ano, entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO .

A partir da Tabela 7 verifica-se que, para as diferentes estações do ano, de um modo geral, os valores do coeficiente de correlação entre os valores médios dos parâmetros H_s e T_m e os valores do Índice NAO , mais elevados são obtidos nos meses de inverno (Leixões: 0,32 e 0,52 respetivamente; Sines: -0,20 e 0,24 respetivamente; Faro: -0,63 e -0,44 respetivamente).

Na boia de Leixões, o coeficiente de correlação entre H_s e o índice NAO diminui do inverno (0,32) para a primavera (0,07), e passa para valores negativos, até ao outono (-0,21; aumenta, no entanto, em módulo). O coeficiente de correlação entre os valores de T_m e o índice NAO diminui desde o inverno (0,52) até ao outono (0,05). Em Sines, o coeficiente de correlação entre os valores de H_s e o índice NAO é maior nos meses de inverno (-0,20) e verão (0,09), e menor nos meses de primavera (-0,04) e outono (-0,05). Já o coeficiente de correlação entre os valores de T_m e o índice NAO aumenta do inverno (0,24) para a primavera (0,72) e diminui no verão e no outono (0,09 para os dois). Já em Faro, o coeficiente de correlação entre os valores de H_s e o índice NAO diminui, do inverno (-0,63) para a primavera (-0,07), aumenta ligeiramente no verão (0,08) e passa para valores negativos no outono (-0,32). O mesmo se sucede com o coeficiente de



correlação entre os valores de T_m e o índice NAO (-0,44; -0,14; 0,11 e -0,30 respetivamente).

Na Tabela 8 são apresentados os coeficientes de correlação para as diferentes estações do ano entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO , separadamente para os períodos em de regime NAO positivo e negativo.

Coeficiente de correlação sazonal NAO^+, H_s)	Leixões	Sines	Faro
DJF	0,07	-0,17	-0,42
MAM	0,30	0,22	0,18
JJA	0,43	-0,06	0,01
SON	0,07	0,14	0,09
Coeficiente de correlação sazonal (NAO^-, H_s)	Leixões	Sines	Faro
DJF	-0,15	-0,06	-0,55
MAM	0,18	0,08	-0,10
JJA	0,02	-0,10	-0,06
SON	-0,07	-0,02	-0,34
Coeficiente de correlação sazonal (NAO^+, T_m)	Leixões	Sines	Faro
DJF	0,07	-0,03	-0,22
MAM	0,37	0,23	0,11
JJA	0,02	-0,05	0,13
SON	0,29	0,22	-0,09
Coeficiente de correlação sazonal (NAO^-, T_m)	Leixões	Sines	Faro
DJF	0,12	0,11	-0,46
MAM	0,23	0,02	-0,19
JJA	0,29	0,16	0,05
SON	-0,11	-0,05	-0,34

Tabela 8 - Coeficientes de correlação, para as diferentes estações do ano, entre os valores médios mensais dos parâmetros H_s e T_m o Índice NAO , separadamente para os períodos em de regime NAO positivo e negativo.

De acordo com a Tabela 8, quando o índice NAO é positivo, nas diferentes estações do ano (DJF, MAM, JJA, SON), o coeficiente de correlação entre H_s e o índice NAO^+ e entre os valores de T_m e o índice NAO^+ é mais elevado em Leixões (H_s : 0,07; 0,30; 0,43 e 0,07; T_m : 0,07; 0,37; 0,02 e 0,29), diminuindo até Faro (H_s : -0,42; 0,18;



0,01 e 0,09; T_m : -0,22; 0,11; 0,13 e -0,09). Pelo contrário, quando o índice NAO é negativo, o coeficiente de correlação entre os parâmetros e o índice NAO^- , de um modo geral, aumenta (em módulo; o fato de ser negativo implica uma diferença/alteração de fase), de Leixões (H_s : -0,15; 0,18; 0,02 e -0,07; T_m : 0,12; 0,23; 0,29 e -0,11) até Faro (H_s : -0,55; -0,10; -0,06 e -0,34; T_m : -0,46; -0,19; 0,05 e -0,34). De qualquer das formas, pode-se constatar que, em geral, a correlação entre os parâmetros e o índice NAO é mais forte quando o índice NAO é positivo.

Relativamente ao coeficiente de correlação entre os parâmetros acima descritos e o índice NAO , especificamente para cada boia, verifica-se que: em Leixões, o coeficiente de correlação entre H_s e o índice NAO^+ é mais elevado na primavera (0,30) e no verão (0,43), e coeficiente de correlação entre o mesmo parâmetro e o índice NAO^- , é mais elevado, em módulo, no primavera (0,18) e no inverno (-0,15). Já a correlação entre os valores de T_m e o índice NAO^+ é mais forte na primavera (0,37) e no outono (0,29), e a correlação entre este parâmetro e o índice NAO^- é mais forte na primavera (0,23) e no verão (0,29). Por sua vez, em Sines, o coeficiente de correlação entre H_s e o índice NAO^+ é mais elevado na primavera (0,22) e no inverno (em módulo, -0,17), ao contrário da correlação entre o mesmo parâmetro e o índice NAO^- , que é mais forte, na primavera (0,08) e verão (embora seja negativa; -0,10). Já o coeficiente de correlação entre T_m e o índice NAO^+ é mais elevado na primavera (0,23) e outono (0,22) sendo que para índice NAO^- é mais elevado no inverno (0,11) e verão (0,16). Já em Faro, a correlação entre H_s e o índice NAO^+ é mais forte nos no inverno (-0,42) e primavera (0,18), e a correlação entre o mesmo parâmetro e o índice NAO^- , é mais forte no inverno (-0,55) e outono (-0,34). Já a correlação entre T_m e o índice NAO^+ é mais forte no inverno (-0,22) e verão (0,13), e a correlação entre este parâmetro e o índice NAO^- é mais forte no inverno (-0,46) e outono (-0,34).



5.3. Análise da variabilidade de H_s e T_m

Para analisar a variabilidade da altura significativa e do período médio da agitação marítima medida nas três boias foi calculado o desvio padrão de H_s e T_m . A Tabela 9 apresenta os valores do desvio padrão de H_s e T_m , relativo às suas médias diárias. O desvio padrão de H_s e T_m , relativo a valores diários (Tabela 9) diminui, de um modo geral, de Leixões até Faro, ou seja, diminui à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa (Leixões: 0,29 m e 0,62 s respetivamente; Sines: 0,23 m e 0,60 s respetivamente; Faro: 0,18 m e 0,45 s respetivamente).

Boia	$\sigma (H_s, m)$	$\sigma (T_m, s)$
Leixões	0,29	0,62
Sines	0,23	0,60
Faro	0,18	0,45

Tabela 9 – Desvio padrão de H_s e T_m , relativo às suas médias diárias.

A Tabela 10 apresenta os valores do desvio padrão sazonal, relativo a valores diários, dos parâmetros H_s e T_m .

Boia	Parâmetro	DJF	SON	MAM	JJA
Leixões	$\sigma (H_s, m)$	0,36	0,31	0,29	0,22
	$\sigma (T_m, s)$	0,71	0,65	0,63	0,49
Sines	$\sigma (H_s, m)$	0,31	0,25	0,23	0,17
	$\sigma (T_m, s)$	0,74	0,65	0,60	0,45
Faro	$\sigma (H_s, m)$	0,21	0,17	0,19	0,15
	$\sigma (T_m, s)$	0,54	0,47	0,45	0,36

Tabela 10 – Desvio padrão sazonal, relativo a valores diários, dos parâmetros H_s e T_m .

À semelhança do desvio padrão (anual; Tabela 9), o desvio padrão sazonal de H_s e T_m (Tabela 10) também decresce, de um modo geral, com a diminuição da latitude. Este apresenta valores mais elevados (ou seja, há uma maior variabilidade) nos meses de inverno, e mais baixos (menor variabilidade) nos meses de verão, para as três boias (Leixões: 0,36 m e 0,71 s em DJF, e 0,22 m e 0,49 s em JJA; Sines: 0,31 m e 0,74 s em DJF, e 0,17 m e 0,45 s em JJA; Faro: 0,21 m e 0,54 s em DJF, e 0,15 m e 0,36 s em JJA).

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam a comparação por meses, no período de 1990 a 2011, da variabilidade de H_s e T_m , para as boia de Leixões, Sines e Faro, respetivamente.

Na Figura 12 é apresentada a comparação por meses da variabilidade de H_s e T_m , para a boia de Leixões.

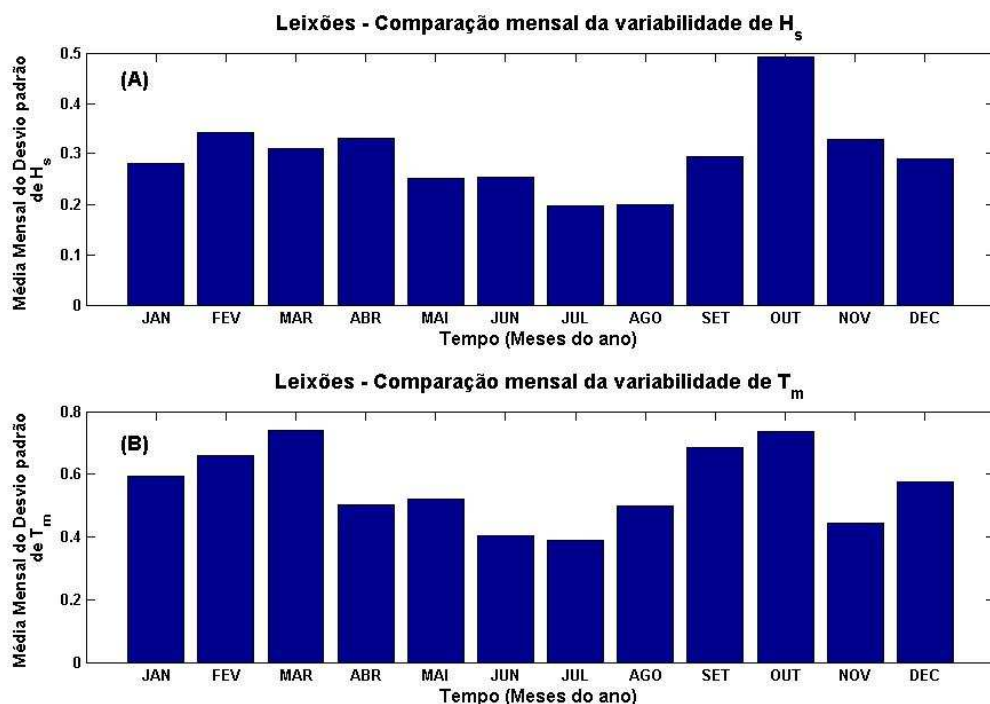


Fig. 12 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.

Na boia de Leixões é possível observar, ao nível de H_s (Figura 12a), diferenças consistentes entre a variabilidade nos meses de outono e inverno, comparativamente à primavera e ao verão. O mês de maior variabilidade é outubro com um desvio padrão de aproximadamente 0,49 m. Relativamente a T_m (Figura 12b), verifica-se igualmente que os meses de apresentam maior variabilidade correspondem aos meses de outono (nomeadamente setembro e outubro) e inverno (especialmente janeiro). No entanto, o mês que apresenta maior variabilidade é março, com um desvio padrão de aproximadamente 0,73 s.

A Figura 13 apresenta a comparação por meses da variabilidade de H_s e T_m para a boia de Sines. Verificam-se diferenças significativas entre a variabilidade de H_s (Figura 13a) e T_m (Figura 13b) nos meses de outono e inverno e a variabilidade nos meses de primavera e verão, havendo maior variabilidade dos parâmetros no outono e no inverno. Especificamente, os meses que registam maior variabilidade de H_s são fevereiro, outubro e novembro, com um desvio padrão de 0,33 m aproximadamente. Por sua vez, janeiro é o mês que apresenta maior variabilidade de T_m , com 0,8 s de desvio padrão.

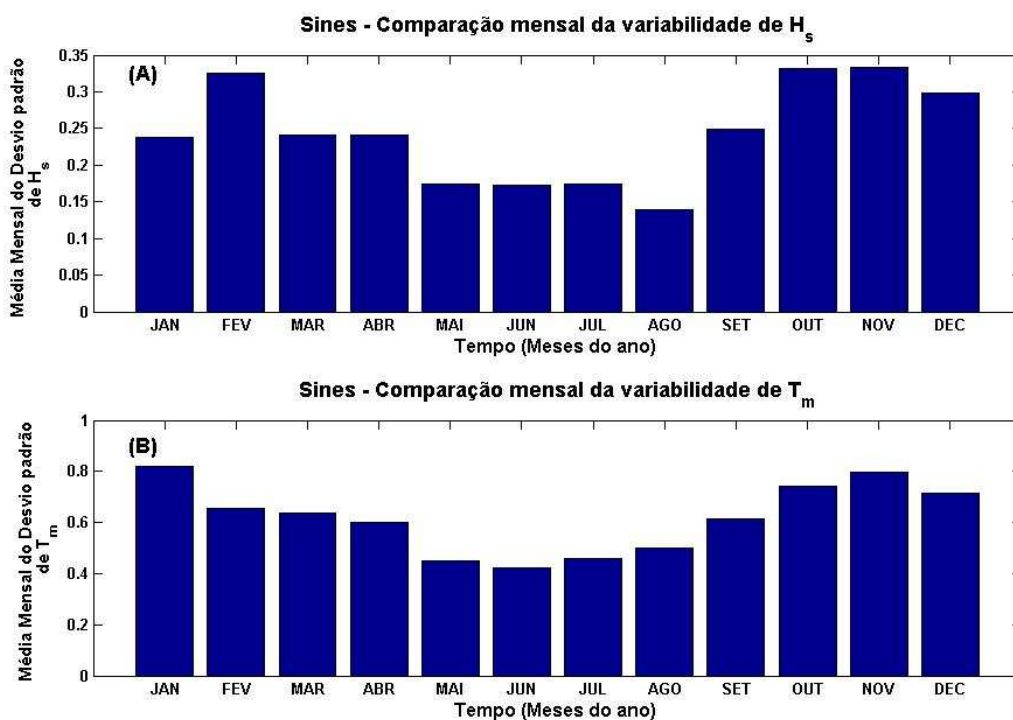


Fig. 13 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.

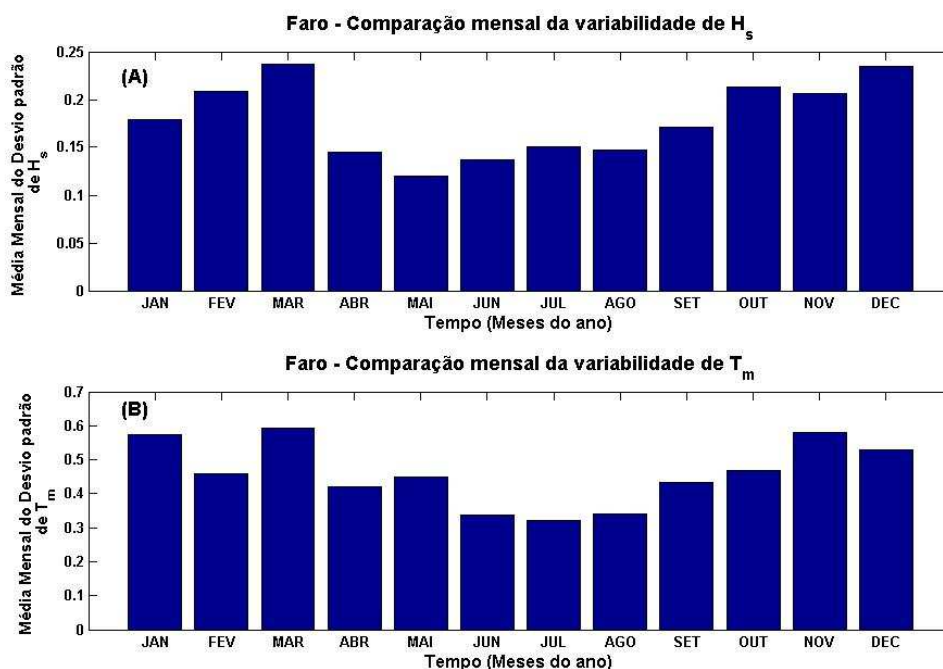


Fig. 14 – Comparação mensal da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: média mensal do desvio padrão do parâmetro.

A partir da Figura 14, a qual apresenta a comparação mensal da variabilidade de H_s e T_m para a boia de Faro, verifica-se, à semelhança de Leixões e Sines, que os meses de outono e inverno são os meses com maior variabilidade de H_s (Figura 14a) e T_m (Figura 14b). março é o mês com maior desvio padrão dos dois parâmetros: 0,24 m e 0,6 s respetivamente.

Efetuada uma análise conjunta das 3 Figuras anteriores (Figuras 12, 13 e 14), pode afirmar-se que Leixões é a boia que regista maior variabilidade dos parâmetros. Por outro lado, em geral, Os meses de outono e inverno apresentam maiores variabilidades do que os meses de primavera e verão, ao nível dos parâmetros H_s e T_m .

As Figuras 15, 16 e 17 apresentam, em DJF, a variabilidade de H_s e T_m , para as boias de Leixões, Sines e Faro. A Tabela 11 contém os valores médios do desvio padrão das figuras desta secção. As Figuras referentes a MAM e SON encontram-se no anexo A (Figuras A7 a A12).

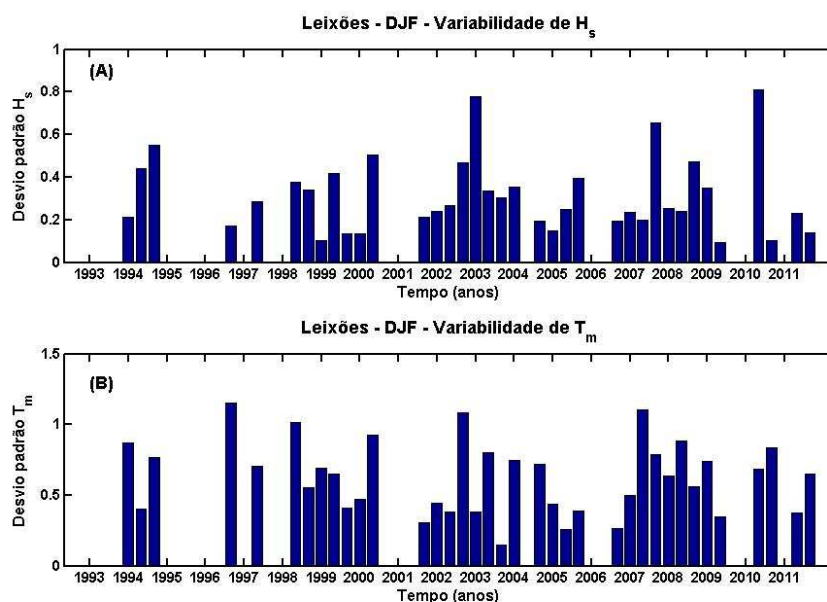


Fig. 15 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.

A Figura 15 apresenta a série temporal, para DJF de cada ano, do desvio padrão de H_s e T_m , para a boia de Leixões. Verifica-se que nos meses de inverno, desvios padrão de H_s (Figura 15a) atingem valores da ordem dos 0,8 m, com um desvio padrão médio de 0,31 m (ver Tabela 11). Por outro lado, T_m (Figura 15b), embora apresentando um valor médio do desvio padrão de 0,61 s, apresenta desvios padrão que chegam aos 1,2 s.

Na Figura 16 é apresentada a série temporal, para DJF de cada ano, do desvio padrão de H_s e T_m , para a boia de Sines. Pode observar-se os desvios padrão de H_s (Figura 16a) apresentam valores máximos de 1 m (valor médio do desvio padrão: 0,29 m), enquanto que T_m (Figura 16b), apesar de ter um desvio padrão médio de 0,73 s, consegue atingir 1,6 s de valor máximo.

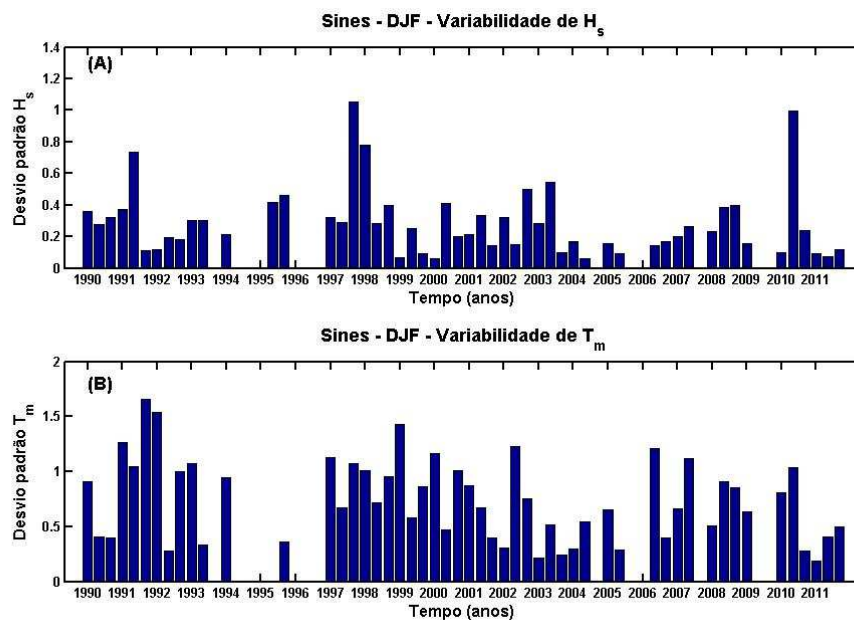


Fig. 16 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.

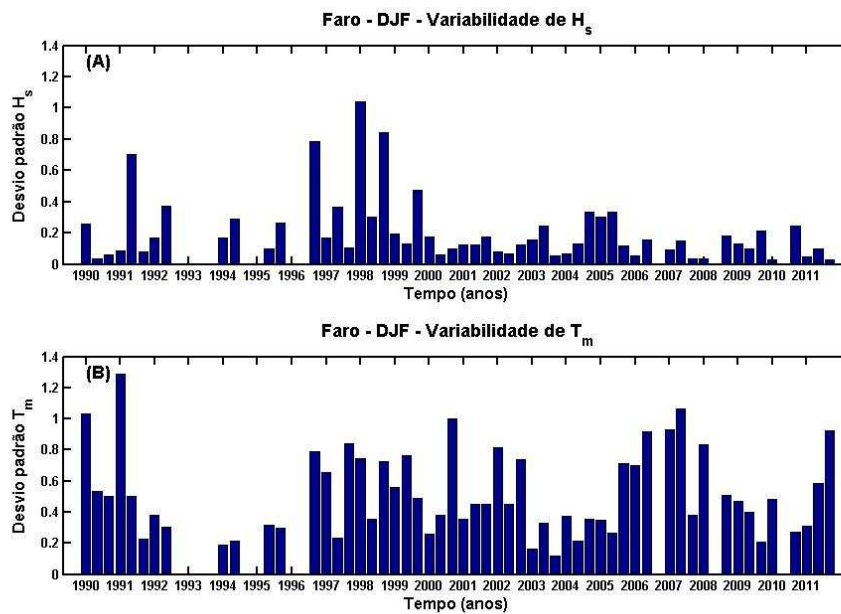


Fig. 17 – Série temporal (para DJF de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para DJF.

A Figura 17 contém a série temporal, para DJF de cada ano, do desvio padrão de H_s e T_m , para a boia de Faro. Verifica-se que H_s (Figura 17a) apresenta um desvio padrão com valor máximo de 1 m (valor médio: 0,21 m). Já T_m (Figura 17b) consegue atingir os 1,3 s, embora com um valor médio do desvio padrão de 0,52 s.

Pela análise das Figuras 15, 16 e 17 pode observar-se que, em DJF, à medida que a latitude vai diminuindo, a variabilidade dos parâmetros, em geral, também vai decrescendo.

As Figuras 18, 19 e 20 ilustram a variabilidade de H_s e T_m , para as boias de Leixões, Sines e Faro, na estação de JJA.

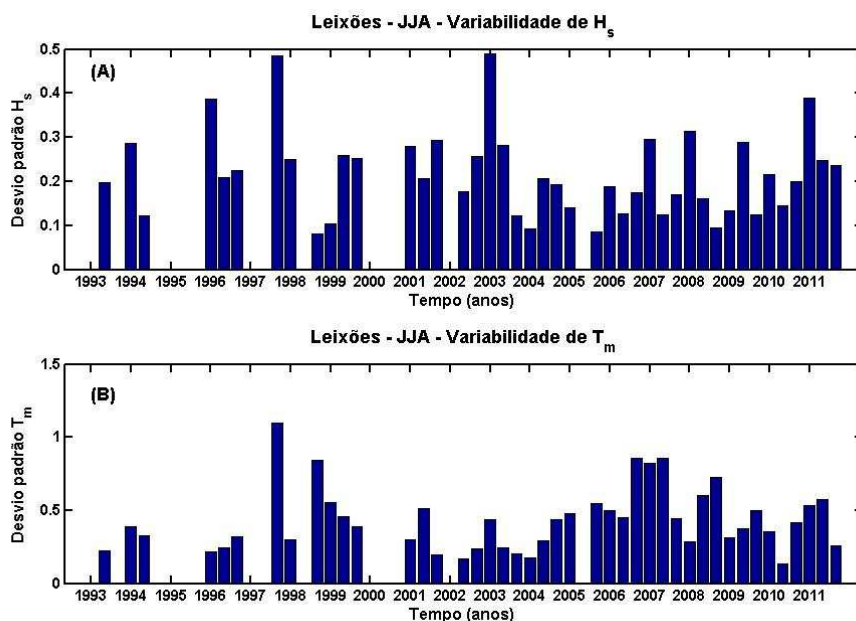


Fig. 18 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.

A Figura 18 contém a série temporal, para JJA de cada ano, da variabilidade de H_s e T_m , para a boia de Leixões. Verifica-se que H_s (Figura 18a), embora apresentando uma variabilidade média de 0,22 m, atinge sensivelmente 0,5 m de valor máximo. O parâmetro T_m (Figura 18b) consegue ter desvios padrão máximos de 1,1 s (apesar de ter um desvio padrão com valor médio de 0,43 s).

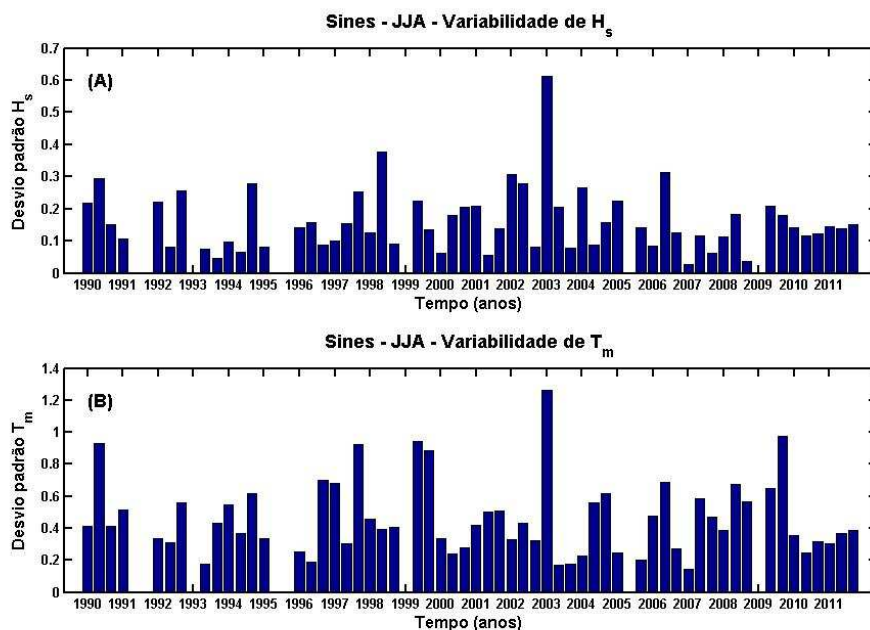


Fig. 19 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.

Através da Figura 19, onde é apresentada a série temporal, para JJA de cada ano, do desvio padrão de H_s e T_m para a boia de Sines, pode observar-se que o desvio padrão de H_s (Figura 19a) consegue atingir valores na ordem dos 0,6 m, embora tenha uma média de 0,16 m. Já T_m (Figura 19b) apresenta 1,3 s como o valor máximo registado, e um valor médio de 0,46 s.

Conforme a Figura 20, que apresenta a série temporal, para JJA de cada ano, do desvio padrão de H_s e T_m , para a boia de Faro, é perceptível que o desvio padrão de H_s (Figura 20a) atinge valores na casa dos 0,4 m, e média de 0,14 m. Já para T_m (Figura 20b) é possível encontrar valores médios de 0,33 s e um máximo de 0,75 s.

À semelhança de DJF, também em JJA os valores do desvio padrão decrescem com a diminuição da latitude, embora apresentando valores muito mais baixos.

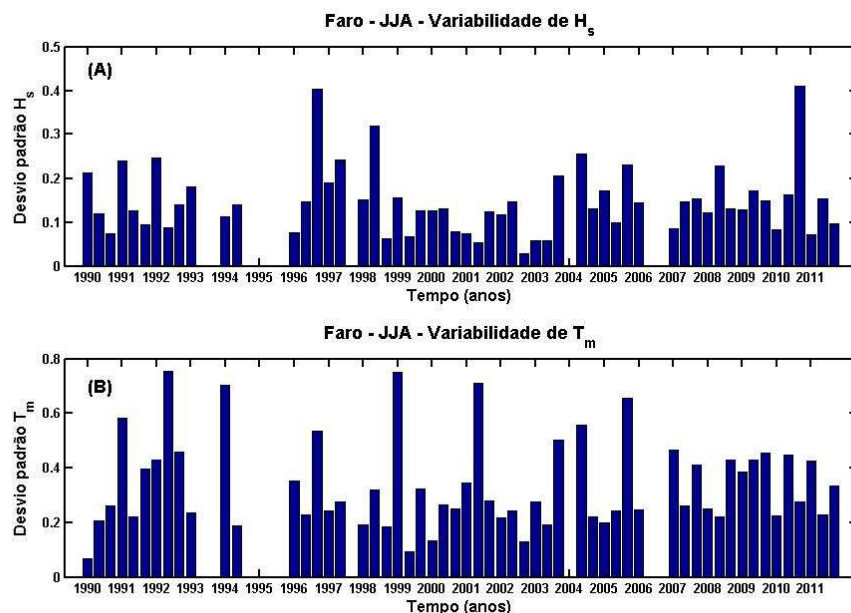


Fig. 20 – Série temporal (para JJA de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para JJA.

A Tabela 11 apresenta os valores médios do desvio padrão das Figuras respeitantes à variabilidade sazonal dos parâmetros H_s e T_m . Pode observar-se que para H_s , a média dos desvios padrão decresce com a diminuição da latitude, independentemente da estação do ano. Relativamente ao desvio padrão do parâmetro T_m , este aumenta de Leixões até Sines, e diminui até Faro. Para as diferentes estações do ano, o desvio padrão tem tendência para se comportar do seguinte modo: independentemente da boia, o desvio padrão, tanto de H_s como de T_m , diminui, em média, dos meses de inverno (DJF) para os meses de verão (JJA), voltando a aumentar nos meses de outono (SON).



Boia	Parâmetro	DJF	SON	MAM	JJA
Leixões	$\sigma(H_s, m)$	0,31	0,37	0,30	0,22
	$\sigma(T_m, s)$	0,61	0,62	0,59	0,43
Sines	$\sigma(H_s, m)$	0,29	0,31	0,22	0,16
	$\sigma(T_m, s)$	0,73	0,72	0,56	0,46
Faro	$\sigma(H_s, m)$	0,21	0,20	0,17	0,14
	$\sigma(T_m, s)$	0,52	0,49	0,49	0,33

Tabela 11 – Média do desvio padrão sazonal, relativo a valores mensais, dos parâmetros H_s e T_m .

5.4. Estudo das frequências de ocorrência de H_s , T_m e MWD em função do índice NAO

Nas Figuras 21 a 29 estão apresentados os histogramas anuais de frequências relativas de H_s , de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , bem como os histogramas angulares de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para as boias de Leixões, Sines e Faro.

A Figura 21 contém os histogramas anuais de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões. Na distribuição de H_s (Figura 21a) verifica-se que, a frequência de ocorrências é mais elevada entre 1 m e os 2 m (cerca de 47%). Por outro lado, os valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 21b) elevados entre 1 m e 1,5 m (cerca de 30%). Já os valores de H_s em regime NAO^- (Figura 21c) são mais incidentes entre os 1,5 m e os 2 m (cerca de 43%), podendo concluir-se que os valores de H_s no regime NAO^- são superiores aos de H_s no regime NAO^+ na boia de Leixões.

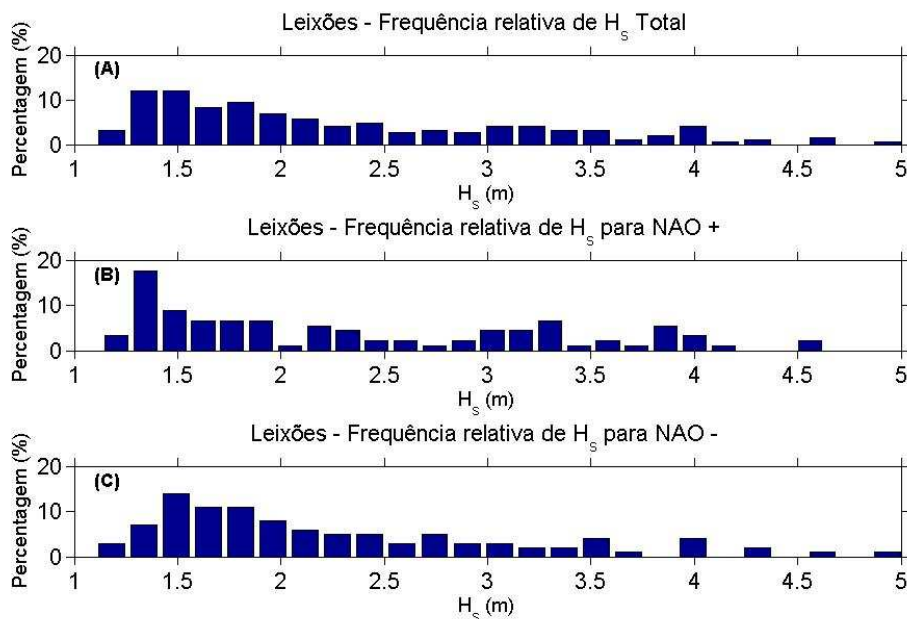


Fig. 21 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

A Figura 22 apresenta os histogramas anuais de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ , e NAO^- , para a boia de Leixões. Verifica-se que T_m (Figura 22a), tem ocorrem com mais frequência dos 5 s aos 7 s (aproximadamente, 49%). Os valores de T_m em regime NAO^+ (Figura 22b) estão distribuídos uniformemente entre 5 s e 10 s. Relativamente à frequência de ocorrência dos valores de T_m em regime NAO^- (Fig. 22c), estes são mais incidentes entre os 5,5 s e os 7 s (57%, aproximadamente). Pode-se constatar, então, que em Leixões, os valores de T_m em regime NAO^- são ligeiramente inferiores aos valores de T_m em regime NAO^+ .

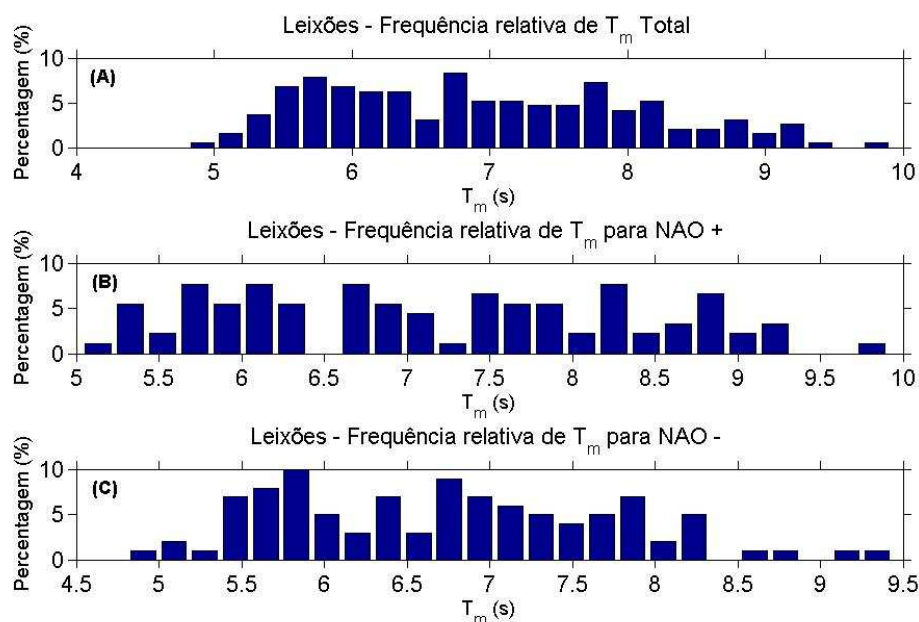


Fig. 22 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

A Figura 23 apresenta os histogramas anuais de frequências relativas de MWD , de MWD em regime NAO^+ , e de MWD em regime NAO^- , para a boia de Leixões. Verifica-se a direção média de proveniência da agitação marítima (Figura 23a) entre W e NW, sendo mais habitual de NW (48%). No regime NAO^+ (Figura 23b) encontra-se dos setores entre WNW e NW, sendo igualmente mais frequente de NW (55%). Por outro lado, no regime NAO^- (Figura 23c), compreende os setores de W a NW, sendo mais frequente de WNW (50%). Assim, observa-se MWD de setores mais a N em regime NAO^+ , e de setores mais a S em regime NAO^- .

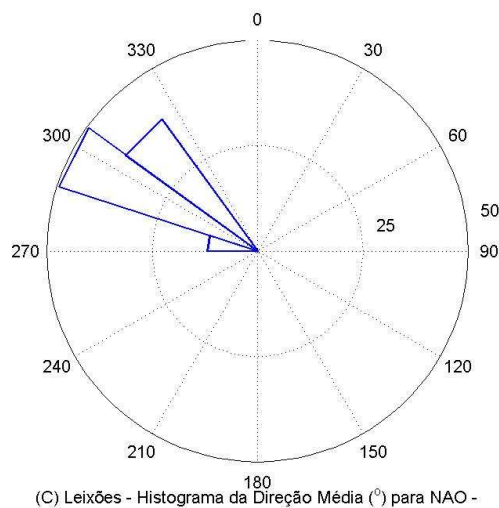
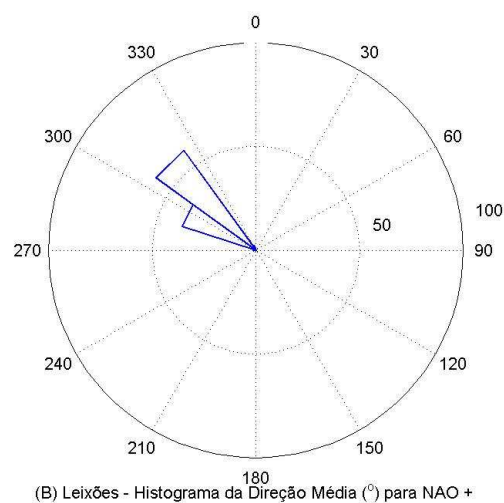
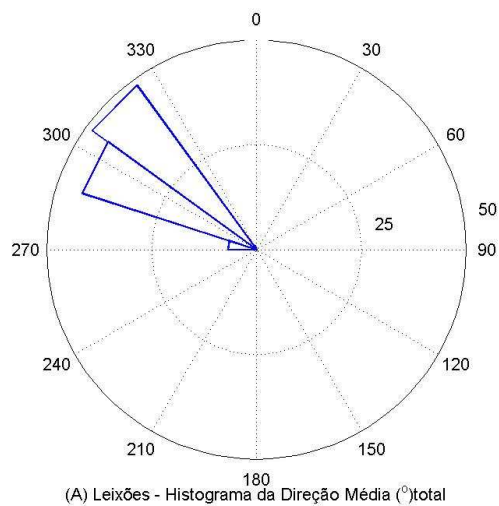


Fig. 23 – Histogramas de frequências relativas de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

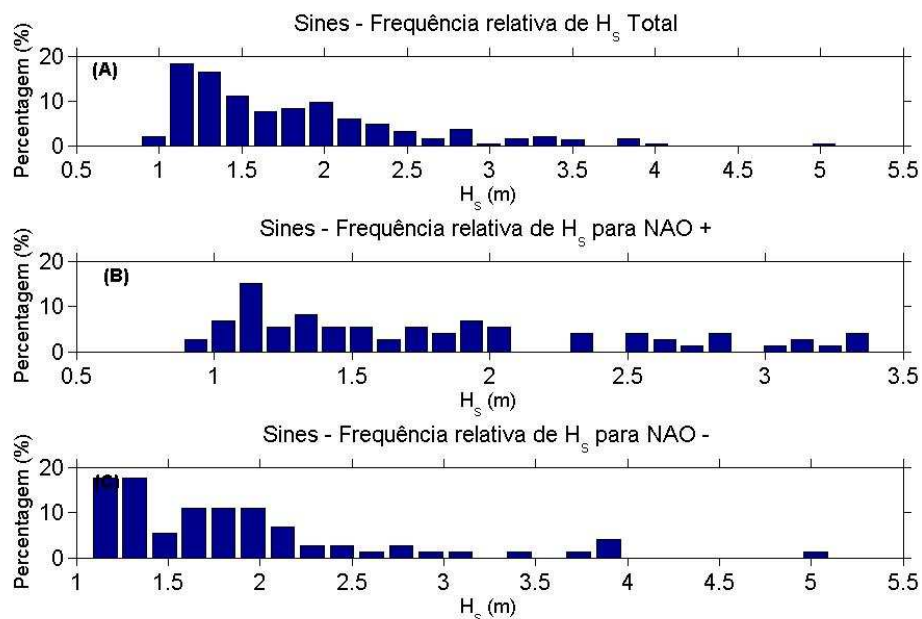


Fig. 24 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

A Figura 24 contém os histogramas anuais de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines. Observa-se que H_s (Figura 24a), tem uma elevada frequência de ocorrência entre 1 m e os 1,5 m (47%). Por outro lado, os valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 24b) são mais habituais entre 1 m e 1,5 m (aproximadamente 50%). Já a frequência de ocorrência dos valores de H_s em regime NAO^- (Fig. 24c) é mais incidente entre 1 m e os 2 m (cerca de 71%), podendo concluir-se que, na boia de Sines, os valores de H_s em regime NAO^- são ligeiramente superiores aos de H_s em regime NAO^+ , à semelhança do que sucede em Leixões (Figura 21).

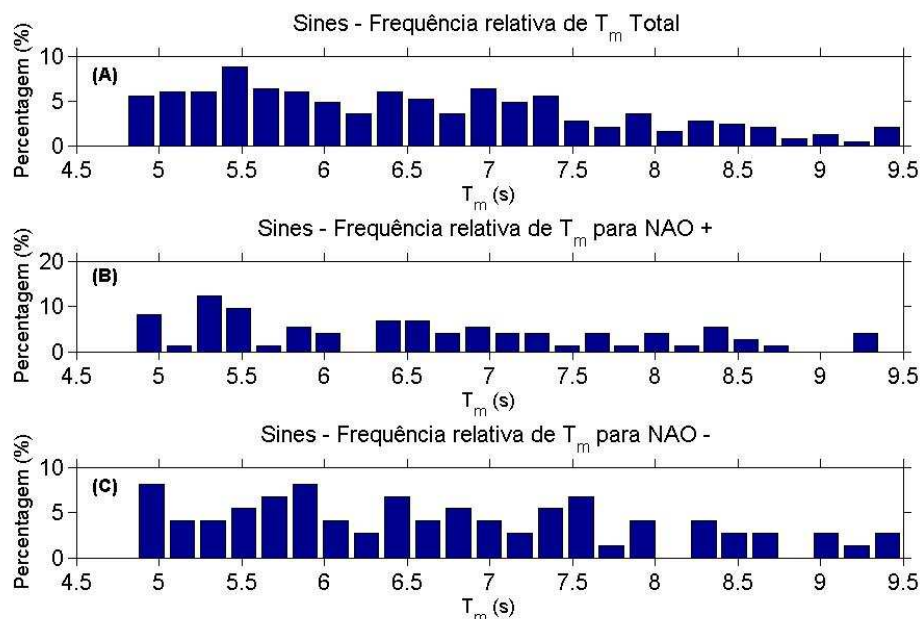
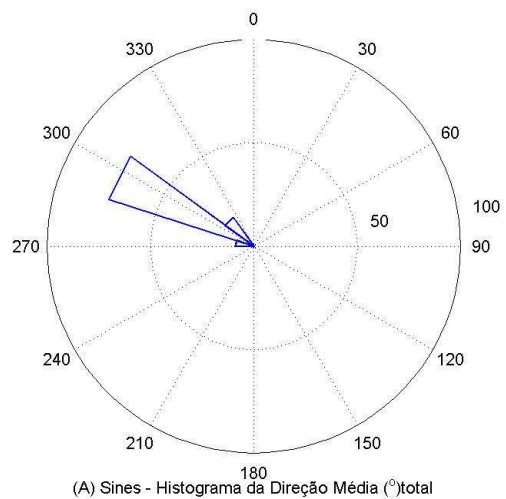


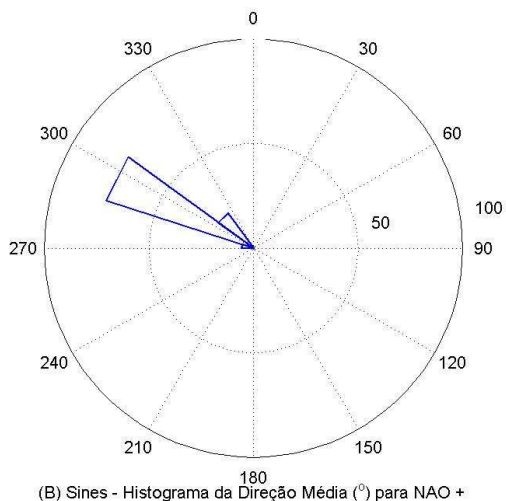
Fig. 25 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

Na Figura 25 são apresentados os histogramas anuais de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines. Pode verificar-se que T_m (Figura 25a) tem uma maior incidência de valores nos 5 s aos 6 s (cerca de 35%). Por outro lado, Os valores de T_m no regime NAO^+ (Figura 25b) ocorrem mais no intervalo dos 5 s aos 5,5 s (35%). Relativamente à frequência de ocorrência dos valores de T_m em regime NAO^- (Figura 25c), estes estão distribuídos uniformemente no intervalo dos 5 s aos 9,5 s, pelo que não se consegue tirar uma conclusão ao nível da diferença entre os dois regimes.

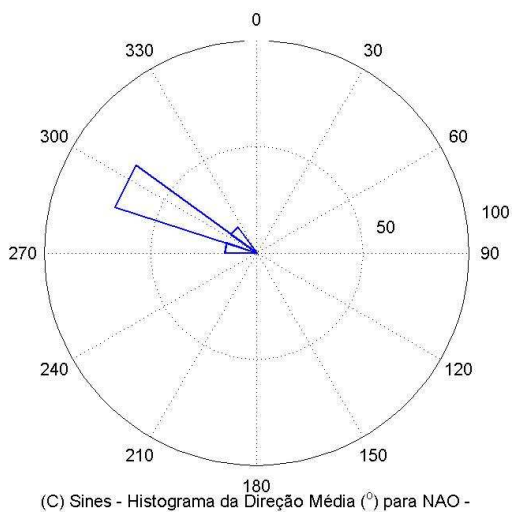
Através da Figura 26, que contém os histogramas anuais de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, pode observar-se a direção média de proveniência da agitação marítima (Figura 26a), entre W e NW, sendo mais frequente de WNW (75%). No regime NAO^+ (Figura 26b) a direção média de proveniência da agitação marítima encontra-se entre W e NW, sendo igualmente mais habitual de WNW (75%). No regime NAO^- (Figura 26c), compreende os setores de W (mais frequente, comparando com Figura 26b) a NW, continuando a ser mais habitual de WNW (75%). Repara-se ainda, que do regime NAO^+ para o regime NAO^- NW deixa de ser tão frequente, e há um aumento de W.



(A) Sines - Histograma da Direção Média (°)total



(B) Sines - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Sines - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. 26 – Histogramas de frequências relativas de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

A Figura 27 apresenta os histogramas anuais de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro. Pode-se verificar que H_s (Figura 27a), tem uma frequência de ocorrências mais elevada entre 0,5 m e 1 m (65%). No regime NAO^+ (Figura 27b), os valores são igualmente mais frequentes entre 0,5 m e 1 m (aproximadamente 70%). No regime NAO^- (Figura 27c) é mais frequente entre 0,5 m e 1 m (cerca de 60%), à semelhança de Figura 27a e Figura 27b.

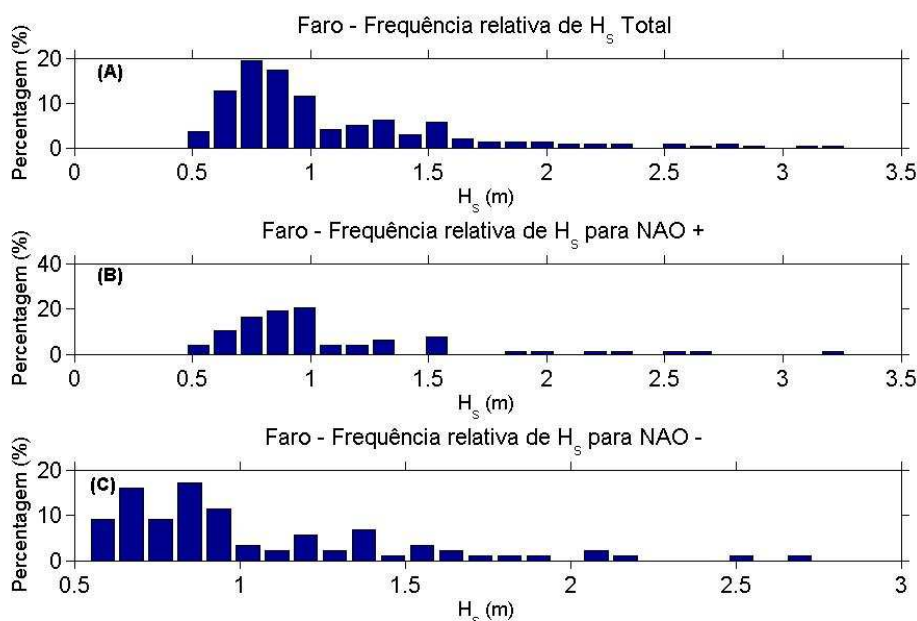


Fig. 27 – Histogramas de frequências relativas de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

A partir da Figura 28, a qual apresenta os histogramas anuais de frequências relativas de T_m , e de T_m em regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, pode observar-se que T_m (Figura 28a), tem valores mais habituais dos 4 s aos 4,5 s (42% aproximadamente). Os valores de T_m no regime NAO^+ (Figura 28b) têm a mesma distribuição da Figura 28a, mas ocorrem mais frequentemente entre os 4,5 s e os 5 s (33%). No regime NAO^- (Figura 28c), estes são mais incidentes entre os 4 s e os 4,5 s (37%), à semelhança de Figura 28a.

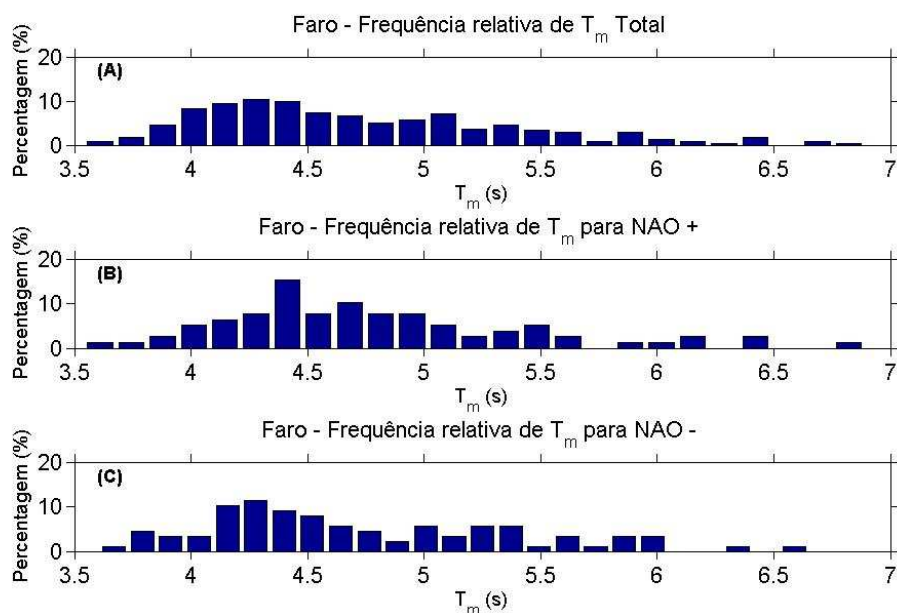
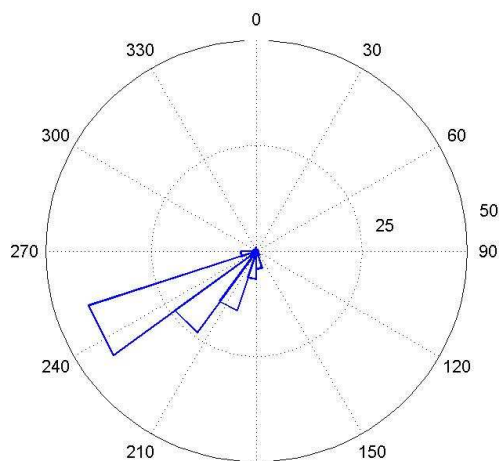
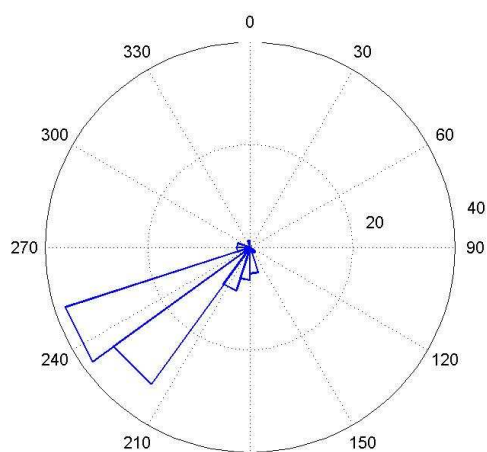


Fig. 28 – Histogramas de frequências relativas de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

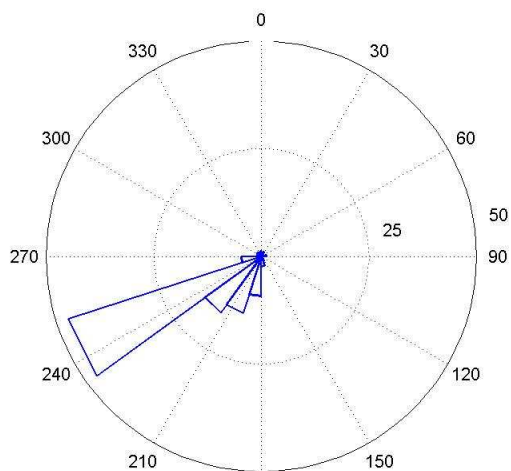
Na Figura 29 são apresentados histogramas anuais de frequências relativas de MWD , e de MWD em regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro. Pode verificar-se a direção média de proveniência da agitação marítima (Figura 29a), mais habitual de WSW (40%). No regime NAO^+ (Figura 29b), encontra-se mais frequentemente de WSW (35%), tendo no entanto uma maior tendência também para o setor de SW (cerca de 30%). Por outro lado, MWD em regime NAO^- (Figura 29c), é mais frequente de WSW (45%, aproximadamente), podendo observar-se também que MWD diminui de SW e aumenta ligeiramente de W. A boia de Faro, por se encontrar, geograficamente, na costa S de Portugal continental (ao contrário das outras duas boias) leva a que registre a direção média de proveniência da agitação marítima de setores mais a S e, ao mesmo tempo, que é influenciada pelo efeito “abrigo” do recorte da costa, regista também direção média de proveniência de praticamente todos os setores.



(A) Faro - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) total



(B) Faro - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO +



(C) Faro - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO -

Fig. 29 – Histogramas de frequências relativas de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.



As Figuras 30 a 32 contêm as funções densidade de probabilidade relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, em primeiro lugar de H_s , T_m e MWD , em segundo lugar de H_s , T_m e MWD no regime NAO^+ e, em terceiro lugar para o regime NAO^- . Estas Figuras têm como objetivo o estudo comparativo entre as diversas boias, para os diferentes parâmetros, tanto ao nível geral, como nos dois regimes NAO .

A Figura 30 apresenta as funções densidade de probabilidade relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e o histograma angular de MWD . Relativamente à frequência de ocorrências dos parâmetros das respetivas boias, verifica-se que, em geral, os valores de H_s (Figura 30a) e T_m (Figura 30b) vão decrescendo com a diminuição da latitude. No caso de MWD (Figura 30c), à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa, deixa de ocupar setores mais de N e passa a ocupar setores mais de S, isto é, para Leixões a ondulação predominante é de NW e Nor-noroeste (NNW), para Sines W e WNW e para Faro SW e WSW.

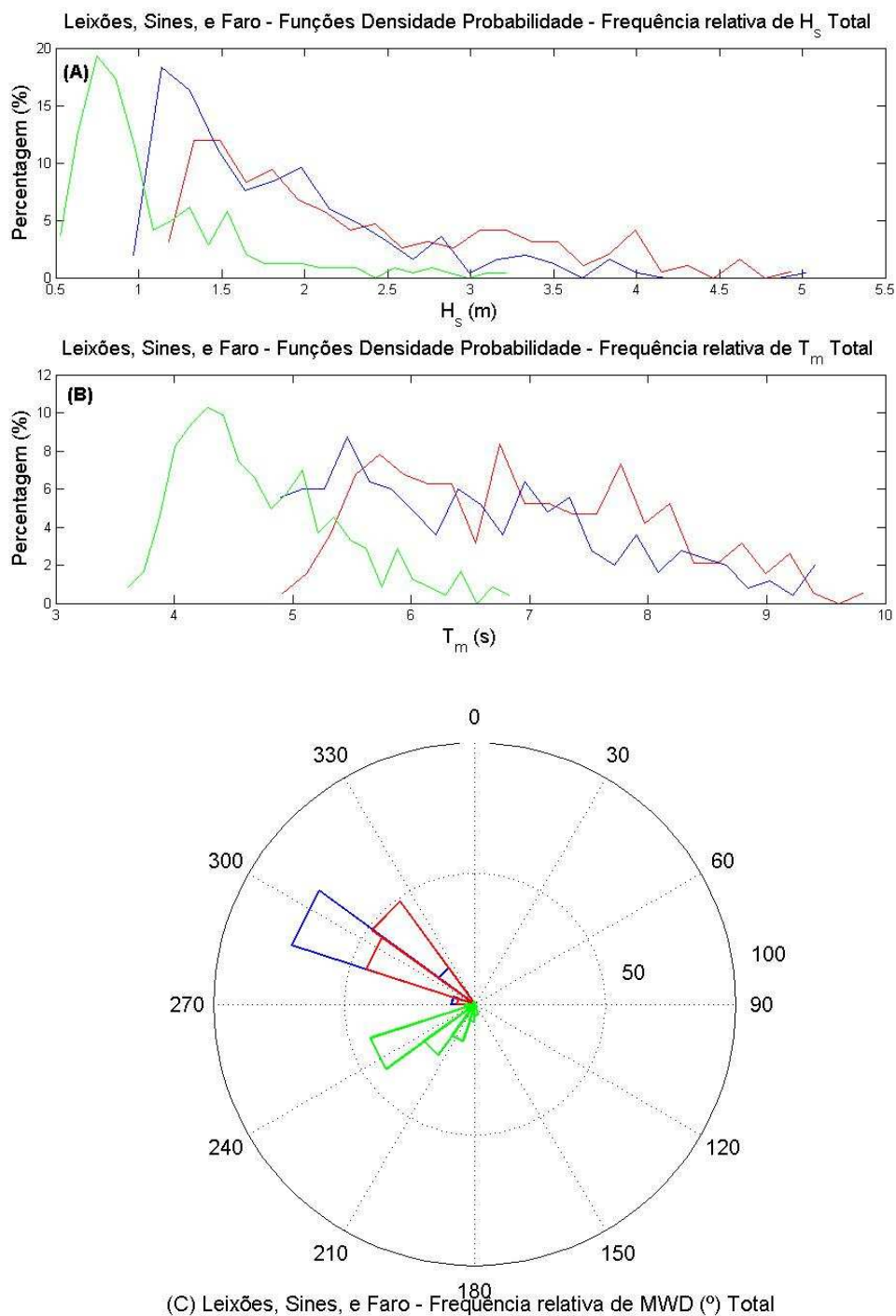


Fig. 30 – Funções densidade de probabilidade de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total (°, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.

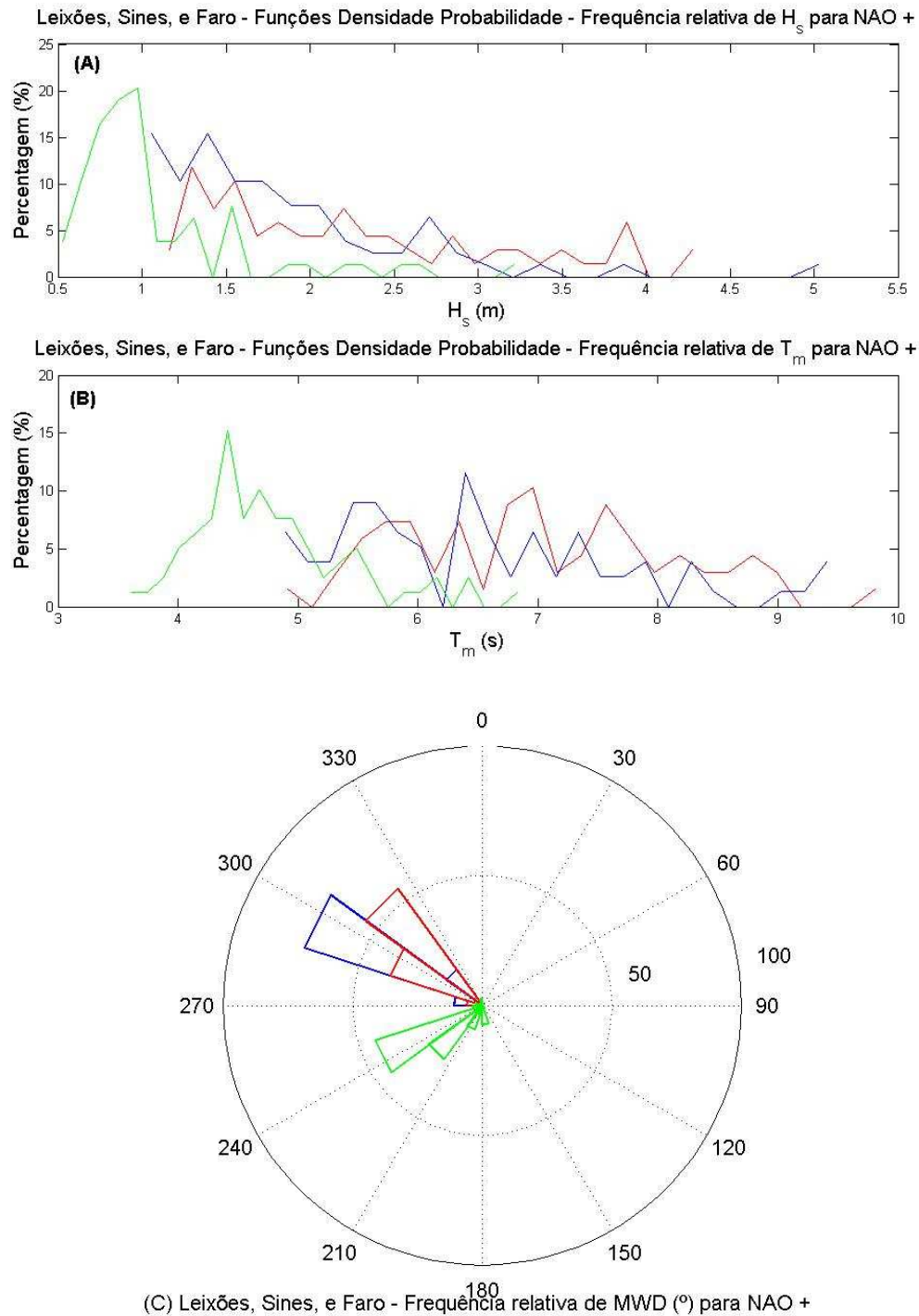


Fig. 31 – Funções densidade de probabilidade de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



A Figura 31 contém as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e o histograma angular de MWD , no regime NAO^+ . Consegue-se verificar que a frequência de ocorrências de H_s (Figura 31a) tem uma distribuição muito semelhante nas boias de Leixões e Sines, ficando Faro com os valores mais baixos. Já para os parâmetros T_m (Figura 31b) e MWD (Figura 31c) verifica-se a mesma situação das Figuras 30b e 30c.

A Figura 32 apresenta funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e o histograma angular de MWD , no regime NAO^- . No regime NAO^- , os valores de H_s (Figura 32a) vão diminuindo com a diminuição da latitude. Já o parâmetro T_m (Figura 32b) para Leixões e Sines, a sua frequência de ocorrências tem uma distribuição muito semelhante, ficando Faro com os valores mais baixos. No caso de MWD (Figura 32c), em Leixões, encontra-se do setor de WNW e NW (embora mais de WNW e menos de NW, ao contrário do regime NAO^+), Sines WNW e Faro WSW.

Comparando as Figuras 31 e 32, percebe-se que os valores de H_s e T_m são ligeiramente superiores no regime NAO^+ relativamente aos do regime NAO^- . Verifica-se igualmente que a direção média de proveniência da agitação marítima encontra-se de setores mais a N no regime NAO^+ e de setores mais de S no regime NAO^- .

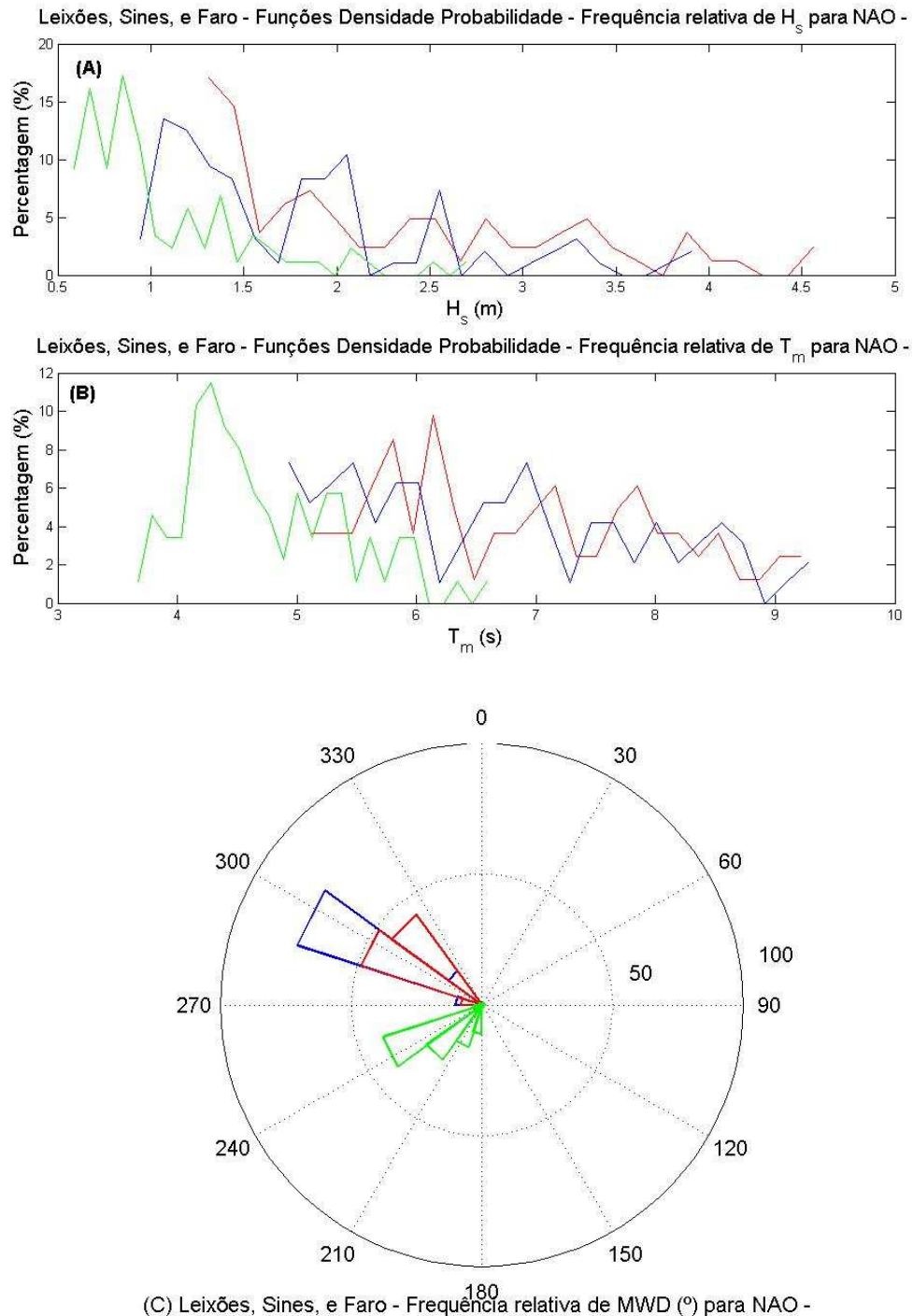


Fig. 32 – Funções densidade de probabilidade de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.

As Figuras 33 a 41 contêm os histogramas de frequências relativas, para a estação de DJF, de H_s , de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , de T_m , de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , e histogramas angulares de MWD , e de MWD nos regime NAO^+ e NAO^- , para as boias de Leixões, Sines e Faro. No anexo A encontram-se os histogramas de frequências relativas de MAM (Figuras A13 a A21) e de SON (Figuras A25 a A33), dos mesmos parâmetros, igualmente para as mesmas boias.

A Figura. 33 contém os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de DJF. Verifica-se que H_s (Figura 33a), apresenta uma frequência de ocorrências mais elevada no intervalo entre os 3 m e os 4 m (cerca de 55%). Os valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 33b) variam mais frequentemente também entre os 3 m e os 4 m (75%). Já no regime NAO^- (Figura 33c) são mais habituais entre os 1,5 m e os 2 m (35% aproximadamente), podendo concluir-se que, no Inverno em Leixões, os valores de H_s em regime NAO^+ são superiores aos de H_s em regime NAO^- .

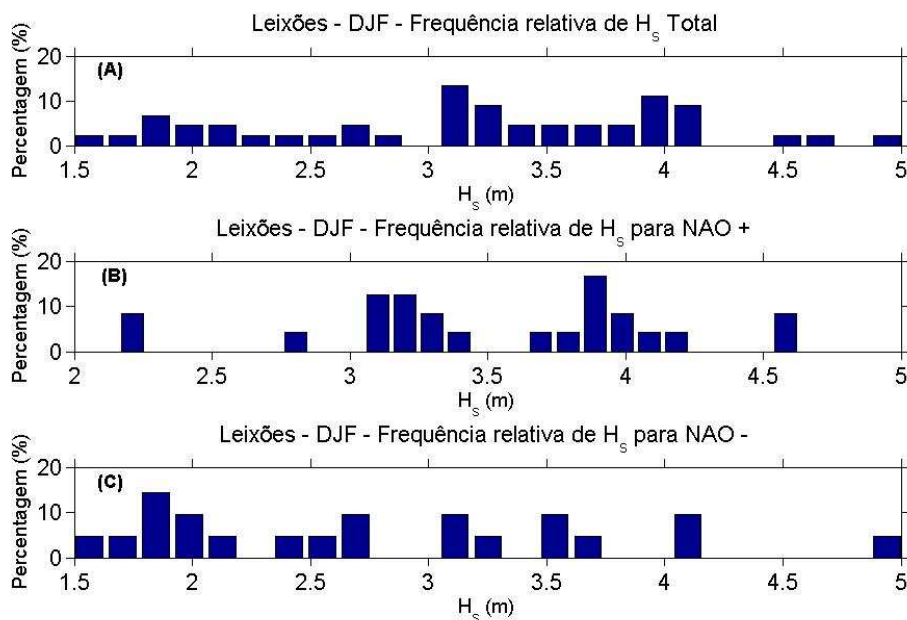


Fig. 33 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

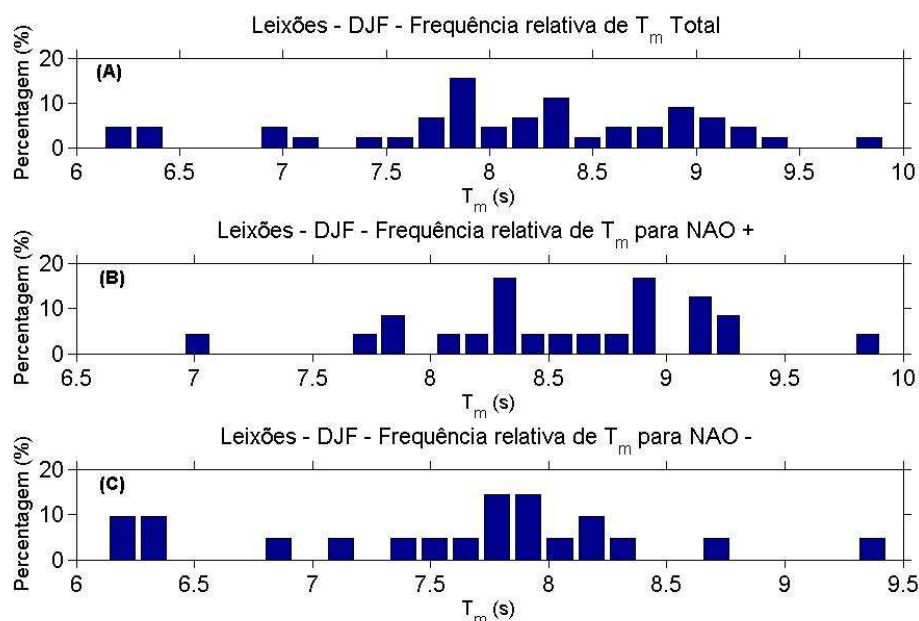
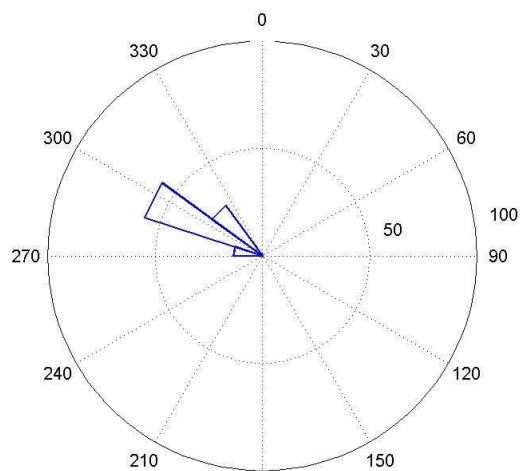
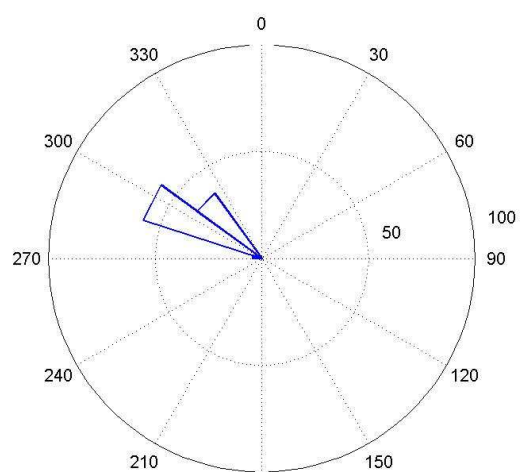


Fig. 34 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

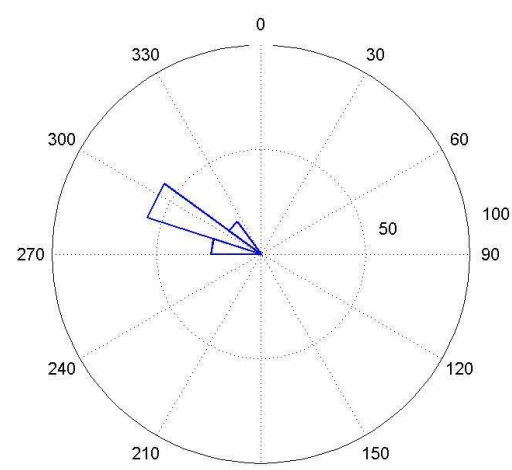
A partir da Figura 34, onde estão apresentados os histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de DJF, pode observar-se que T_m (Figura 34a), ocorre com mais frequência no intervalo dos 7,5 s aos 8,5 s (aproximadamente 50%). Os valores de T_m em regime NAO^+ (Figura 34b) têm mais incidência no intervalo dos 8 s aos 9,5 s (80%). Relativamente à frequência de ocorrência dos valores de T_m em regime NAO^- (Figura 34c), estes são mais habituais entre os 7,5 s e os 8 s (35%). Pela análise desta figura, pode-se constatar que os valores deste parâmetro são maiores em regime NAO^+ do que em regime NAO^- .



(A) Leixões - DJF - Histograma da Direção Média (°)total



(B) Leixões - DJF - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Leixões - DJF - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. 35 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

Conforme a Figura 35, que contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de DJF, pode verificar-se MWD (Figura 35a) entre W e NW, embora seja mais frequente de WNW (60%). MWD em regime NAO^+ (Figura 35b) tem os mesmos setores de proveniência, havendo no entanto um aumento de frequência no setor NW e diminuição em W. Por outro lado, no regime NAO^- (Figura 35c), acontece precisamente o contrário: há uma diminuição de frequência no setor de NW e aumento em W.

A Figura. 36 apresenta os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, na estação de DJF. Observa-se que H_s (Figura 36a) ocorre mais frequentemente entre os 2 m e os 2,5 m (36%). Por outro lado, os valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 36b) são mais habituais entre os 2 m e os 3 m (cerca de 55%). Já os valores de H_s em regime NAO^- (Figura 36c) compreendem com mais frequência o intervalo dos 1 m aos 3 m (70%, aproximadamente), podendo concluir-se que não há uma diferença significativa entre os valores de H_s em regime NAO^- e os valores de H_s em regime NAO^+ .

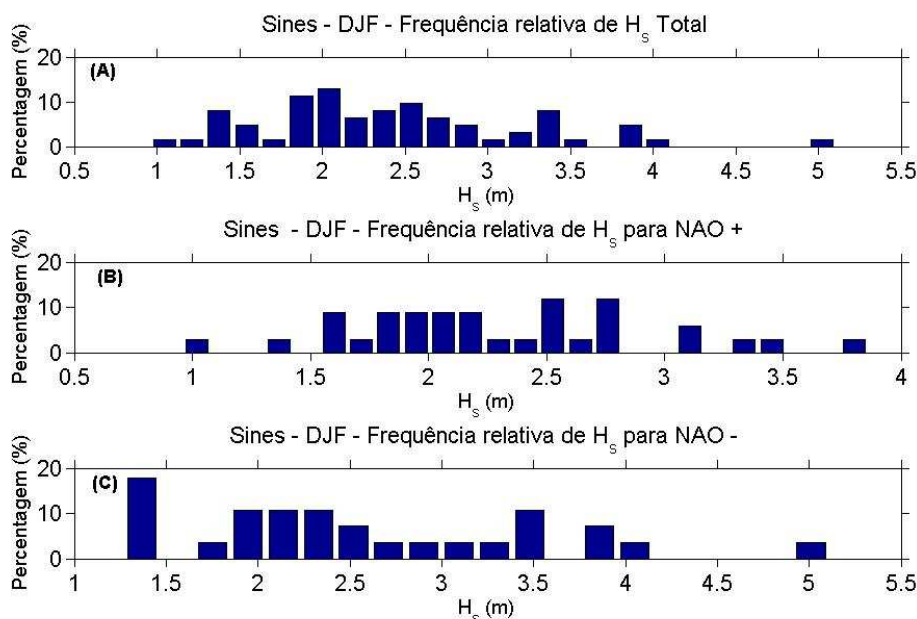


Fig. 36 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

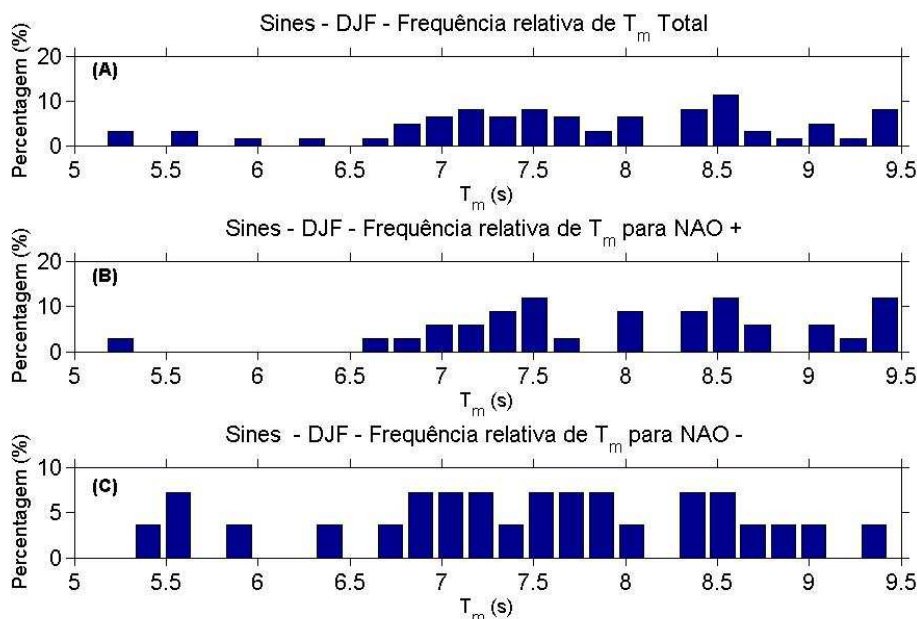


Fig. 37 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

Na Figura 37 são apresentados os histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, na estação DJF. Observa-se que T_m (Figura 37a) tem os seus valores mais frequentes distribuídos dos 7 s aos 8,5 s (cerca de 70%). No regime NAO^+ (Figura 37b), estes são mais incidentes entre os 7,5 s e os 9,5 s (75% aproximadamente). Relativamente aos valores de T_m em regime NAO^- (Fig. 37c), estes têm uma maior ocorrência dos 7 s aos 8,5 s (aproximadamente 55%), sendo mais baixa que em regime NAO^+ .

Pela análise da Figura 38, a qual contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, em DJF. Pode observar-se MWD (Figura 38a) entre W e NW, sendo mais habitual de WNW (75%). Relativamente a MWD em regime NAO^+ (Figura 38b) este tem o mesmo intervalo de setores, mas verifica-se um aumento da frequência no setor de NW (10%) e diminuição em W (5% aproximadamente). Por outro lado, MWD em regime NAO^- (Figura 38c), há diminuição de frequência no setor de NW e aumento em W (ao contrário do regime NAO^+).

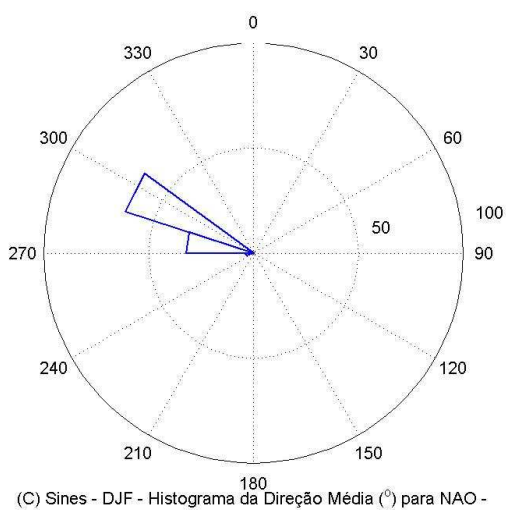
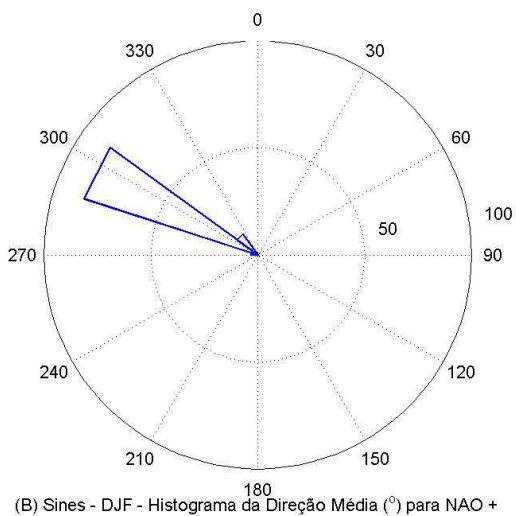
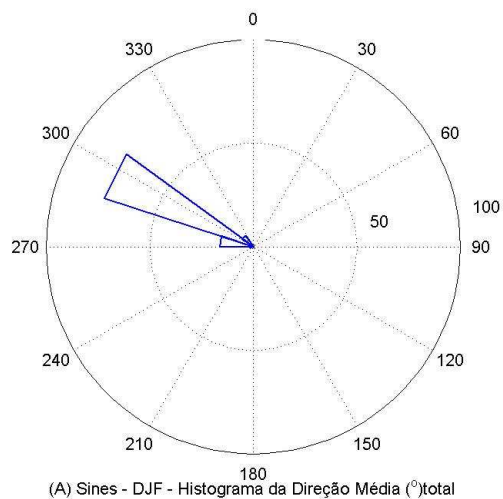


Fig. 38 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

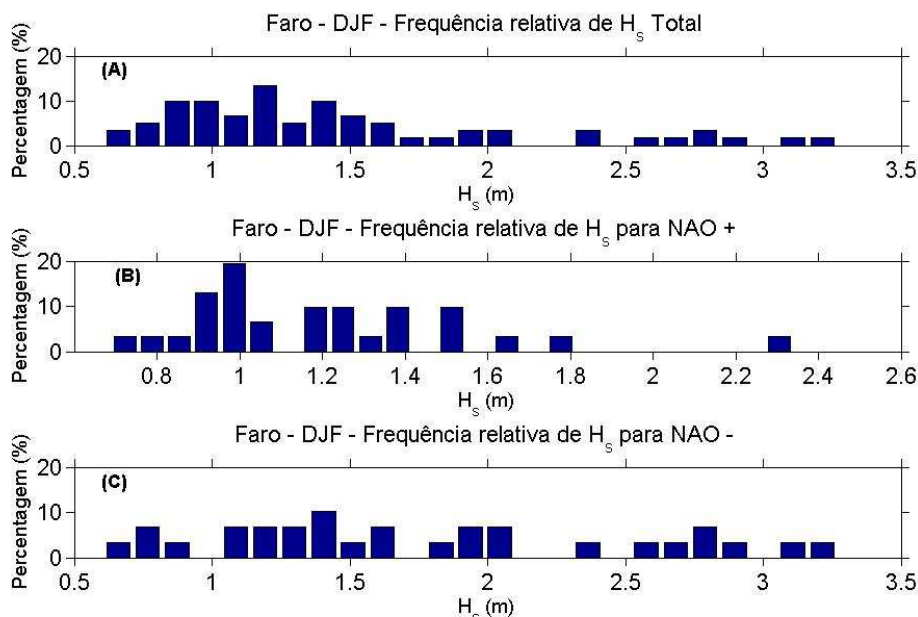


Fig. 39 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

A Figura 39 apresenta os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, na estação de DJF. Pode verificar-se que os valores de H_s (Figura 39a) apresentam uma ocorrência mais elevada no intervalo entre 1 m e os 1,5 m (cerca de 54%). Relativamente aos valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 39b), estes variam, igualmente, mais frequentemente entre 1 m e 1,5 m (aproximadamente 75%). Os valores de H_s em regime NAO^- (Fig. 39c) são, à semelhança das Figuras 39a e 39b, mais incidentes entre 1 m e 1,5 m (33%).

Através da Figura 40, onde são apresentados histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, em DJF, observa-se que T_m (Figura 40a) apresenta com mais frequência valores dos 5 s aos 5,5 s (40%). No regime NAO^+ (Figura 40b) ocorrem mais frequentemente entre os 5 s e os 5,5 s (50%), à semelhança da Figura 40a. No que diz respeito à distribuição dos valores de T_m em regime NAO^- (Fig. 40c), estes compreendem mais frequentemente o intervalo entre os 5 s e os 6,5 s (cerca de 85%), podendo constatar-se que os valores deste parâmetro em regime NAO^- são superiores aos do regime NAO^+ .

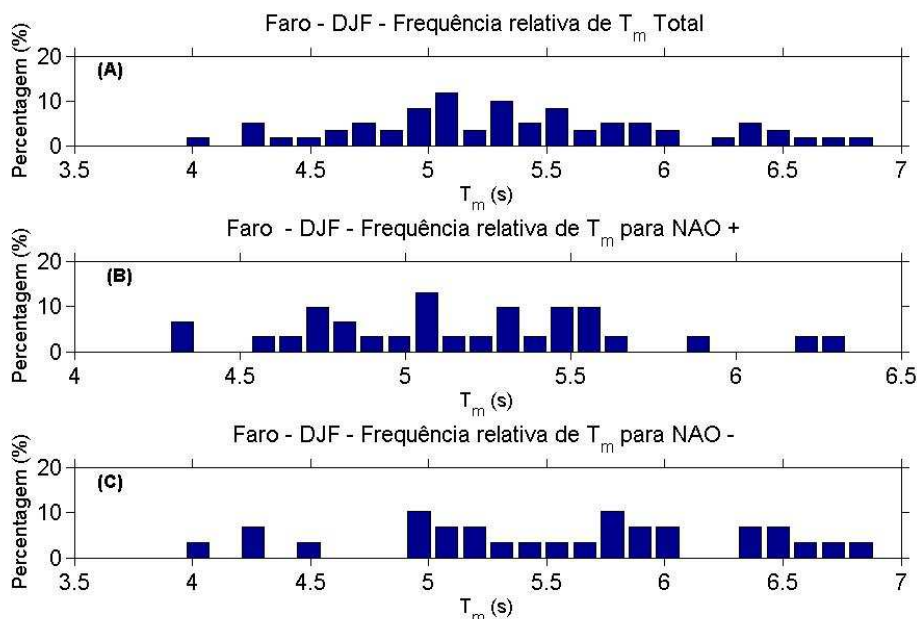


Fig. 40 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

A Figura 41 contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, na estação de DJF. Pode verificar-se que MWD (Figura 41a), encontra-se de todos os setores, sendo contudo mais frequente de WSW (40%) bem como de SW (25%) e SSW (15%). No que respeita a MWD em regime NAO^+ (Figura 41b), continua a ser mais frequente do setor de WSW (35%), tendo no entanto também um aumento no setor de SSW e uma diminuição do setor de SW. Já no regime NAO^- (Figura 41c), acontece o oposto da Figura 41b: diminuição no setor de SSW e um aumento no setor de SW.

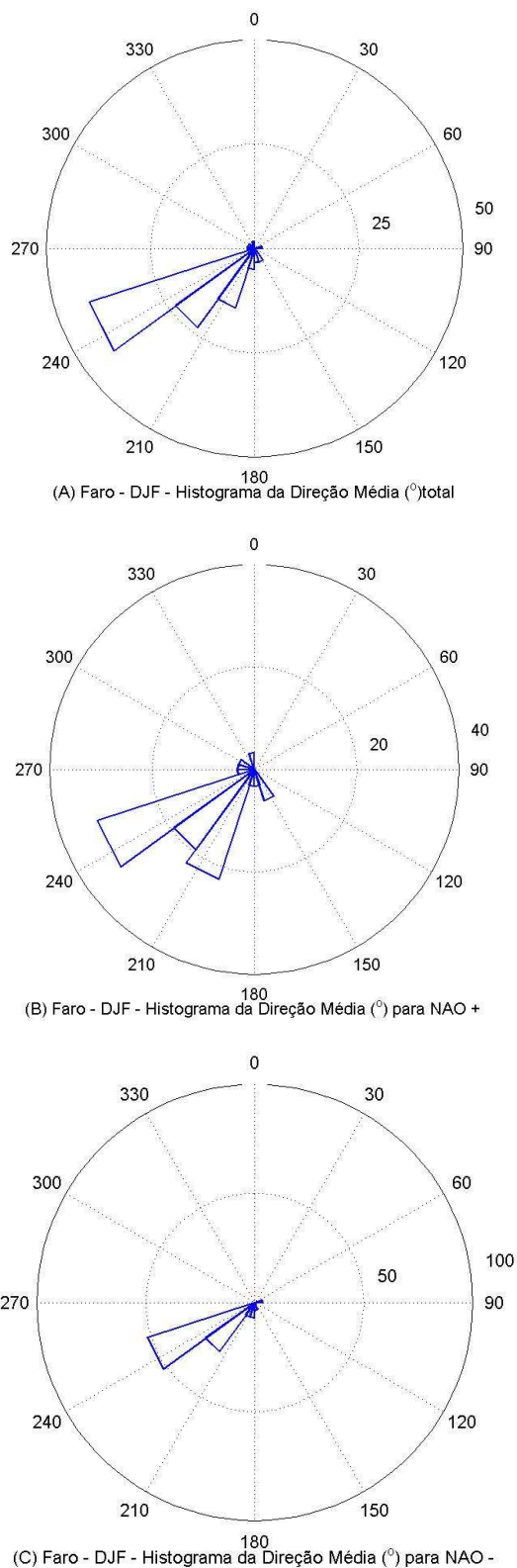


Fig. 41 – Histogramas de frequências relativas sazonais (DJF) de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.



As Figuras 42 a 44 apresentam as funções densidade de probabilidade relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, para a estação DJF, em primeiro lugar de H_s , T_m e MWD , em segundo lugar de H_s , T_m e MWD no regime NAO^+ e, em terceiro lugar no regime NAO^- . No anexo A encontram-se as funções densidade de probabilidade respeitantes a MAM (Figuras A22 a A24) e SON (Figuras A34 a A36), das boias de Leixões, Sines e Faro.

A Figura 42 contém as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, para a estação DJF, de H_s e T_m , bem como o histograma angular de MWD . Relativamente à frequência de ocorrências do parâmetro H_s (Figura 42a) verifica-se que, em geral, os seus valores vão decrescendo com a diminuição da latitude (São maiores em Leixões, decrescem em Sines, e são ainda menores em Faro) No que diz respeito a T_m (Figura 42b), observa-se que os seus valores são semelhantes tanto em Leixões como em Sines, sendo, no entanto, menores em Faro. No caso de MWD (Figura 42c), à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa, deixa de ocupar setores superiores e passa a ocupar setores inferiores, isto é, para Leixões tem-se ondulação predominante de NW e WNW, para Sines W e WNW (maior que em Leixões) e para Faro SW, WSW e SSW.

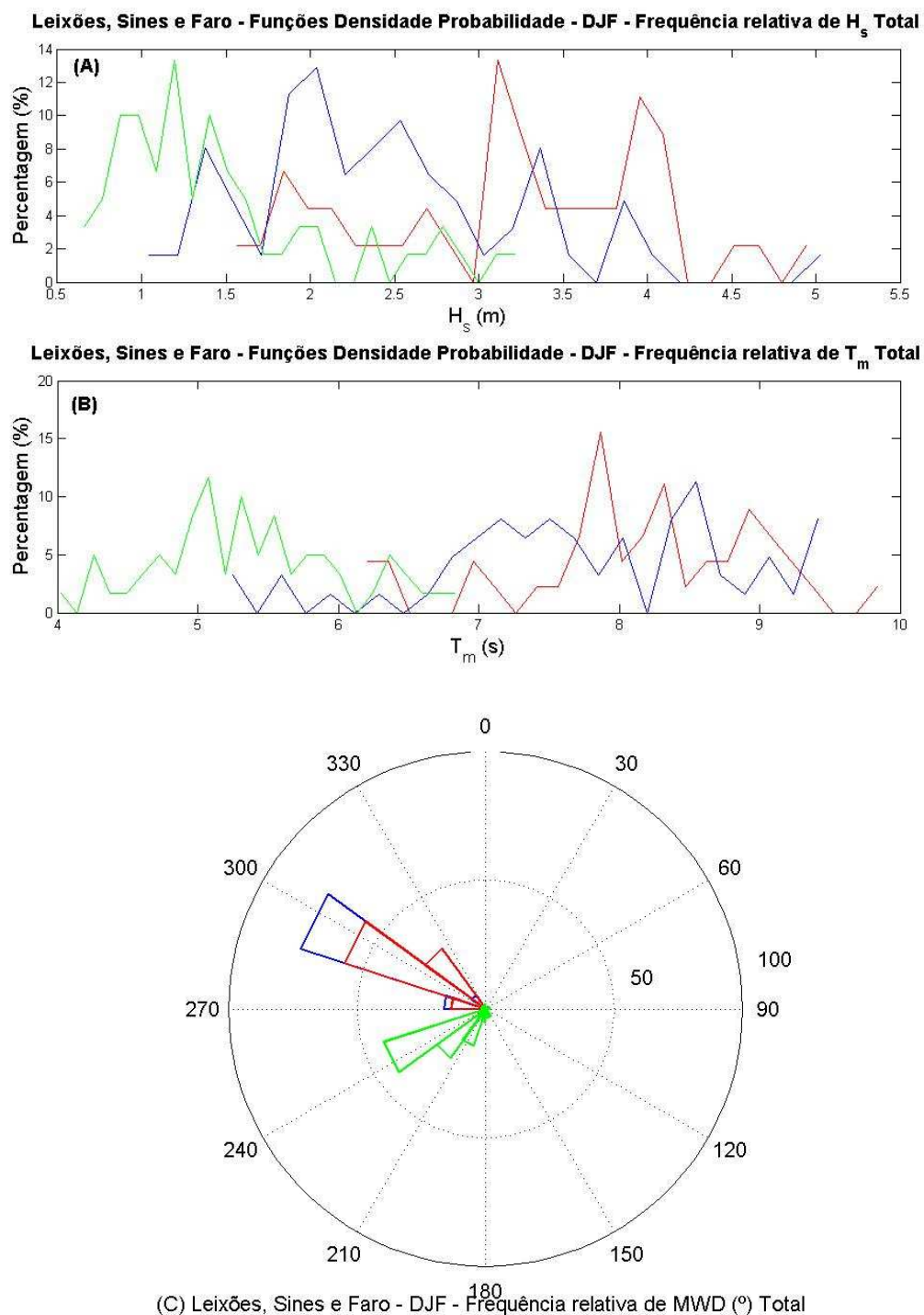
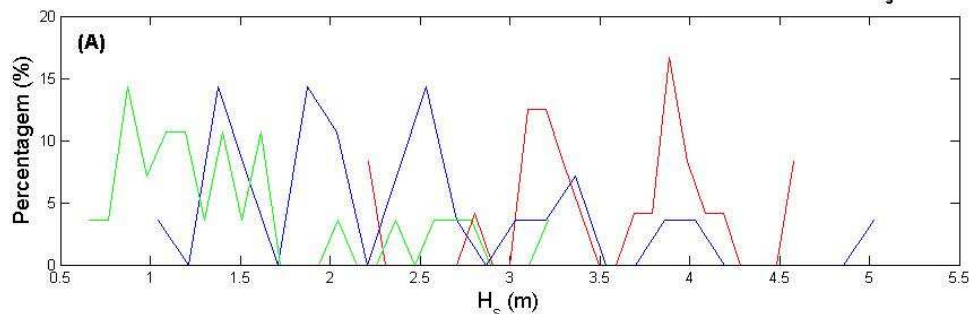


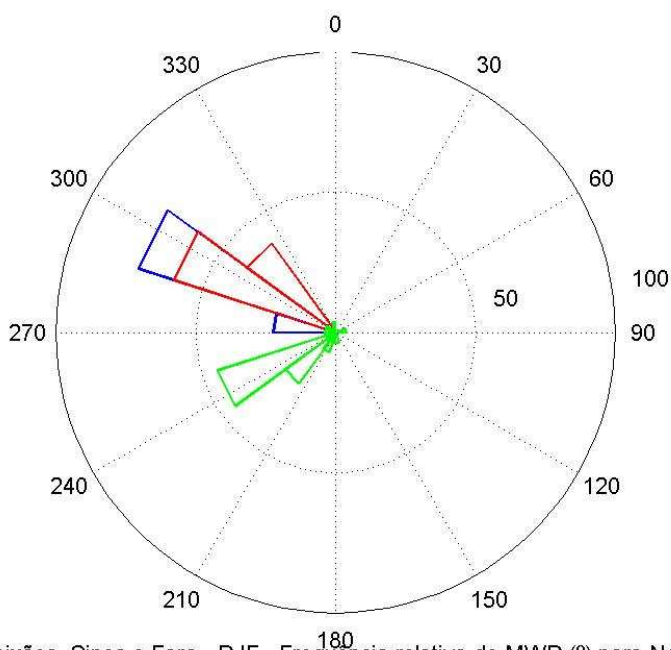
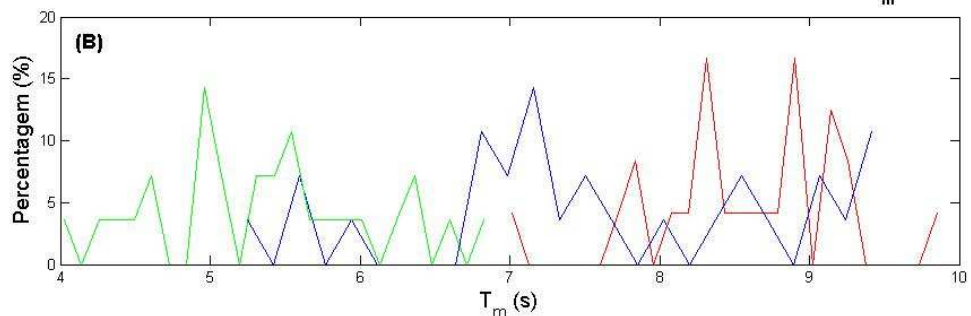
Fig. 42 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total (°, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - DJF - Frequência relativa de H_s para NAO +



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - DJF - Frequência relativa de T_m para NAO +



(C) Leixões, Sines e Faro - DJF - Frequência relativa de MWD (°) para NAO +

Fig. 43 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



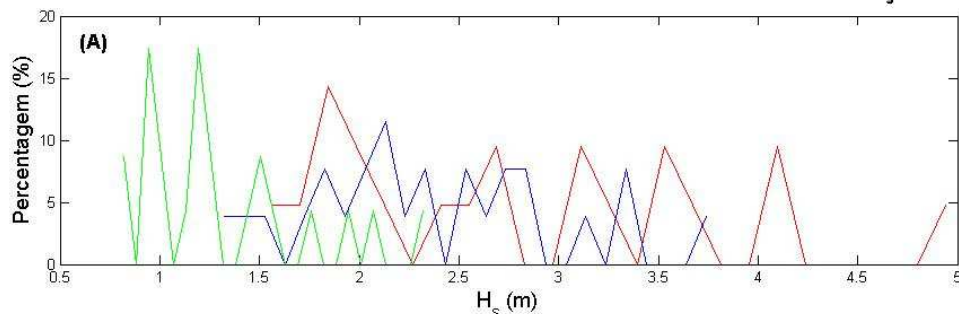
Através da Figura 43, onde são apresentadas as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e histogramas angulares de MWD , no regime NAO^+ , para DJF, pode constatar-se que, no regime NAO^+ , os valores mais elevados de H_s (Figura 43a) e T_m (Figura 43b) são obtidos em Leixões, ficando Faro com os valores mais baixos. Já para MWD (Figura 43c) verifica-se que em Leixões os setores dominantes são WNW e NW, em Sines W e WNW, e Faro WSW e SSW.

Conforme a Figura 44, que contém as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e histogramas angulares de MWD , no regime NAO^- , para a estação DJF, repara-se que no regime NAO^- , os valores de H_s (Figura 44a) vão decrescendo com a diminuição da latitude. Já os valores de T_m (Figura 44b) em Sines são maiores que em Leixões, registando Faro os valores mais baixos. No caso de MWD (Figura 44c), Leixões tem ondulação predominante de WNW, Sines WNW (frequência de ocorrências maior que em Leixões), e Faro WSW e SW.

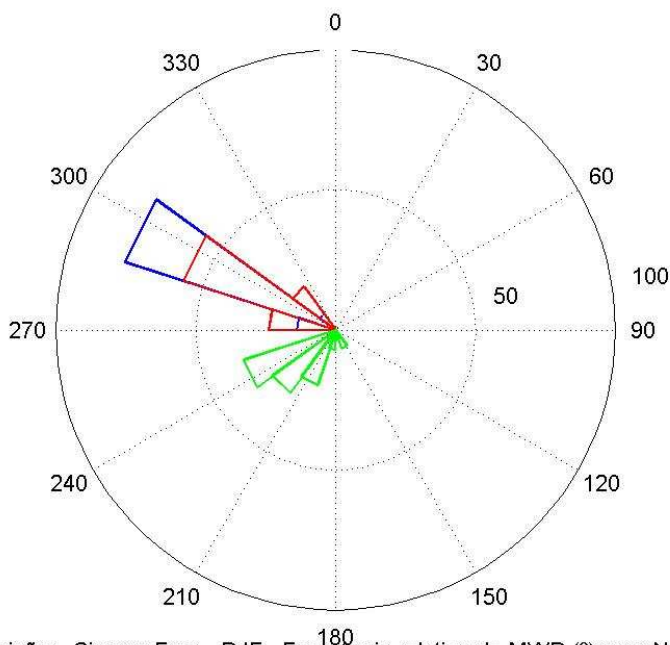
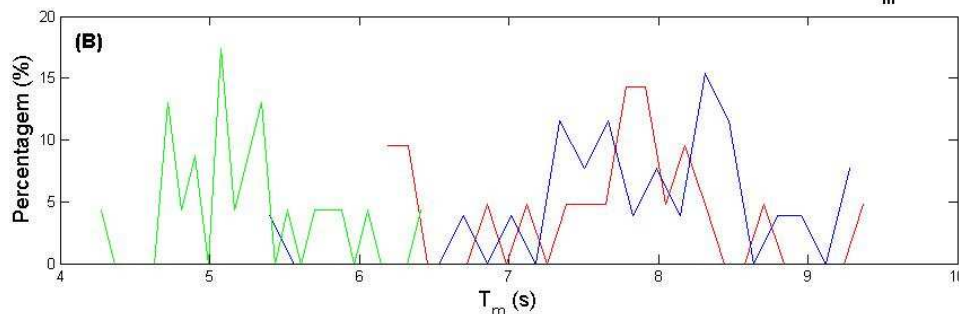
Pela análise conjunta das Figuras 43 e 44, pode-se concluir que, em DJF, nas diferentes boias, H_s e T_m apresentam valores mais elevados no regime NAO^+ , e mais baixos no regime NAO^- . Por outro lado, a direção média de proveniência da agitação marítima encontra-se mais de N no regime NAO^+ , e mais de S no regime NAO^- .



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - DJF - Frequência relativa de H_s para NAO -



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - DJF - Frequência relativa de T_m para NAO -



(C) Leixões, Sines e Faro - DJF - Frequência relativa de MWD (°) para NAO -

Fig. 44 – Funções densidade de probabilidade sazonais (DJF) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.

Nas Figuras 45 a 53 são apresentados os histogramas de frequências relativas respeitantes à estação JJA, de H_s , de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , de T_m , de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , e histogramas angulares de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para as boias de Leixões, Sines e Faro.

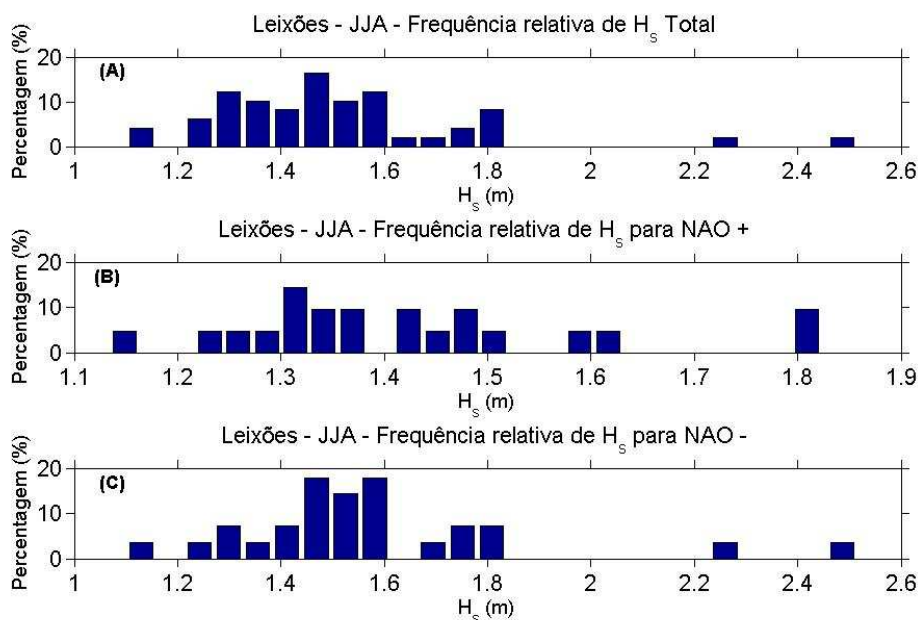


Fig. 45 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

A Figura 45 contém os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de JJA. Verifica-se que para os valores de H_s (Figura 45a), a frequência de ocorrências é mais elevada no intervalo entre os 1,2 m e os 1,6 m (70%, aproximadamente). Por outro lado, os valores de H_s em regime NAO^+ (Fig. 45b) são mais incidentes entre os 1,3 m e os 1,4 m (cerca de 35%). Por fim, no regime NAO^- (Fig. 45c) os valores ocorrem com mais frequência no intervalo entre os 1,4 m e os 1,6 m (40%), podendo concluir-se que os valores de H_s em regime NAO^+ são inferiores aos de H_s em regime NAO^- .

A partir da Figura 46, que apresenta os histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de JJA, pode observar-se que T_m (Figura 46a), tem uma distribuição mais frequente dos 5,5 s aos 6 s (80%). Os valores de T_m em regime NAO^+ (Figura 46b) estão distribuídos com mais incidência no intervalo dos 5,5 s aos 6 s (aproximadamente 55%). Relativamente à frequência de ocorrência dos valores de T_m em regime NAO^- (Figura 46c), estes compreendem com mais frequência, à semelhança da Figura 46b, os 5,5 s e os 6 s (57%). Não existe, então, uma clara distinção dos valores deste parâmetro entre os dois regimes.

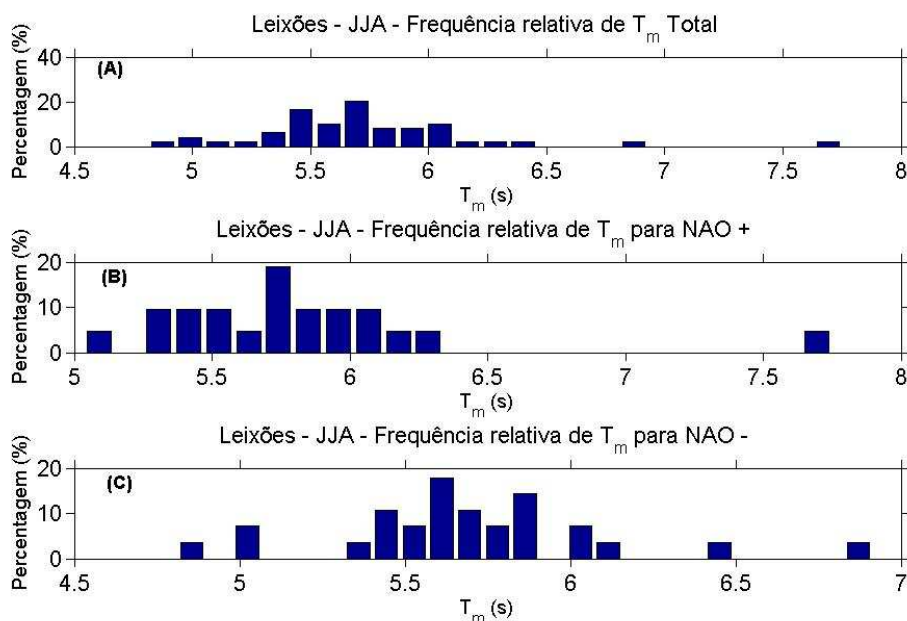
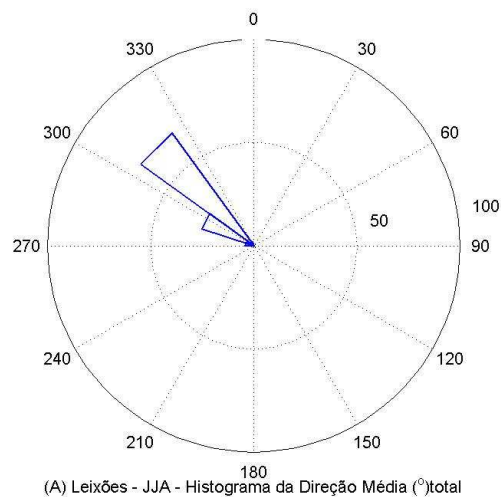
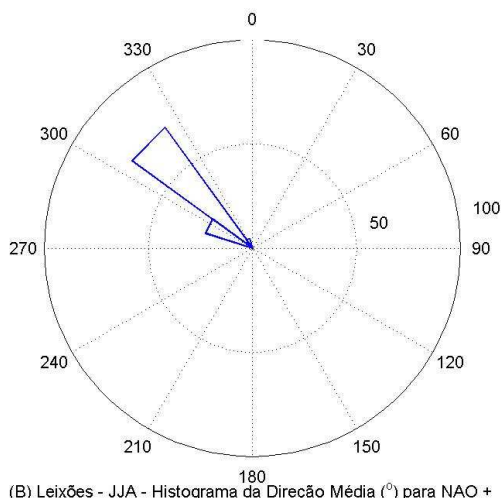


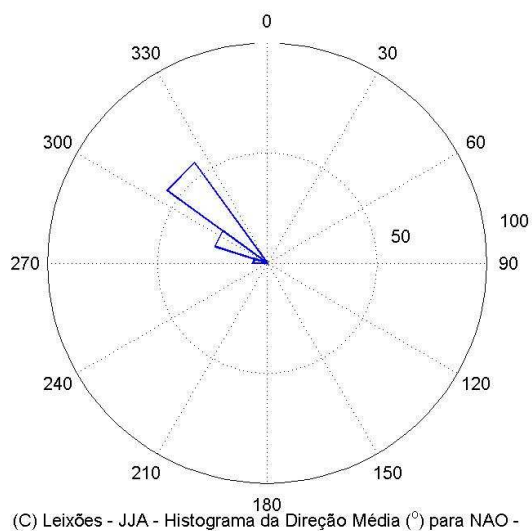
Fig. 46 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.



(A) Leixões - JJA - Histograma da Direção Média (°)total



(B) Leixões - JJA - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Leixões - JJA - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. 47 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

Através da Figura 47, a qual contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Leixões, na estação de JJA, verifica-se MWD (Figura 47a), entre WNW e NW, embora seja mais frequente de NW (cerca de 70%). MWD no regime NAO^+ (Figura 47b) encontra-se nos mesmos setores da Figura 57a. Por outro lado, no regime NAO^- (Figura 47c), embora seja mais frequente de NW (55%), nota-se já também alguma ocorrência de W. Pode-se assim, constatar que MWD ocorre ligeiramente de setores mais de S em regime NAO^- , e mais de N no regime NAO^+ , em JJA.

A Figura 48 apresenta os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, na estação de JJA. Observa-se que os valores de H_s (Figura 48a) são mais habituais entre os 1,1 m e os 1,2 m (aproximadamente 40%). Os valores de H_s em regime NAO^+ (Figura 48b) ocorrem com mais frequência entre os 1,1 m e os 1,2 m, à semelhança da Figura 48a. Já os valores de H_s em regime NAO^- (Fig. 48c) são mais incidentes entre 1,1 m e os 1,3 m (52%), podendo concluir-se não há uma grande diferença de valores de H_s do regime NAO^+ para o regime NAO^- , em JJA.

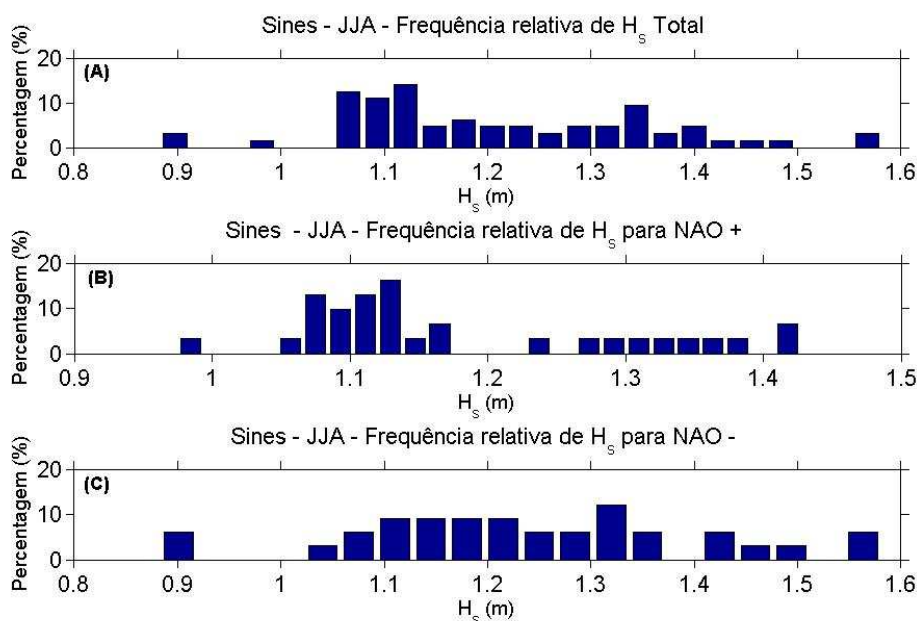


Fig. 48 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

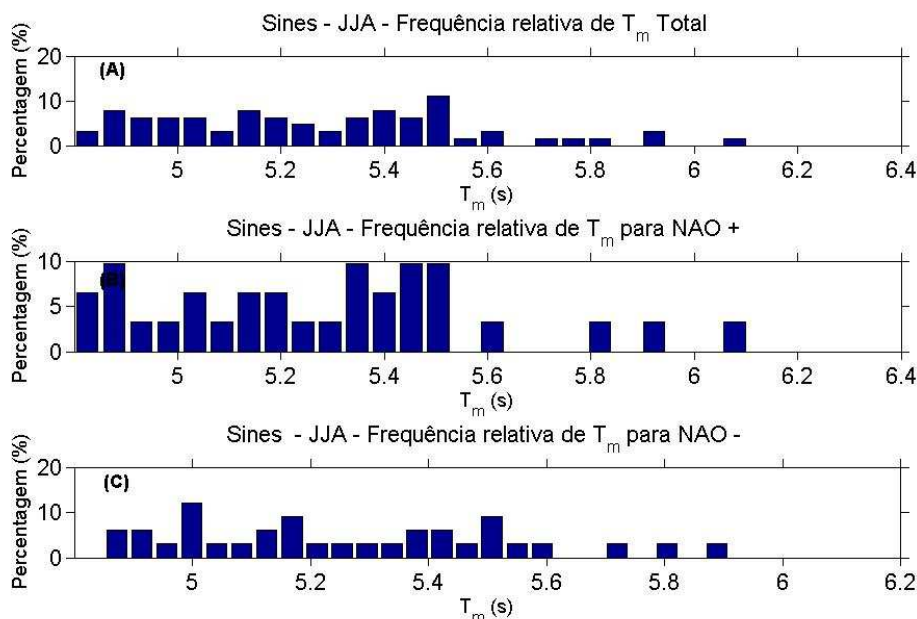
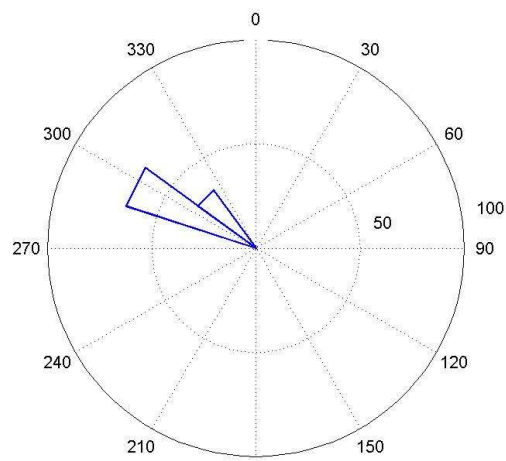


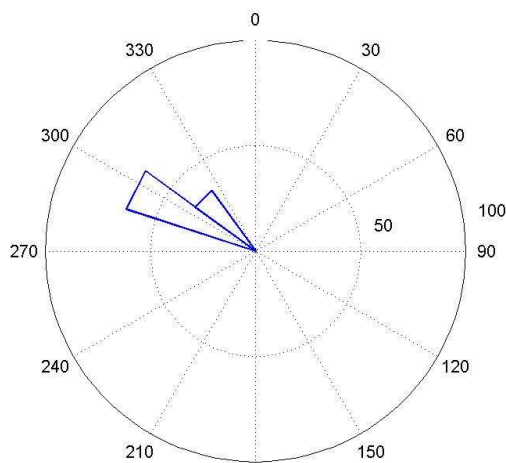
Fig. 49 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

Conforme a Figura 49, onde são apresentados os histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines na estação JJA, pode verificar-se que os valores de T_m (Figura 49a) são mais frequentes entre os 5,2 s e os 5,5 s (54% aproximadamente). No que diz respeito aos valores de T_m no regime NAO^+ (Figura 49b), estes são mais incidentes entre os 5,3 s e os 5,5 s (40%). Relativamente aos valores de T_m no regime NAO^- (Figura 49c), são mais habituais dos 5 s aos 5,2 s (38%), sendo ligeiramente mais baixos que em regime NAO^+ .

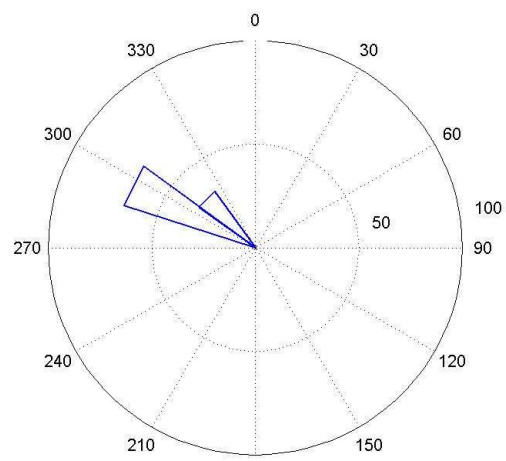
A Figura 50 contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Sines, em JJA. Pode observa-se MWD (Figura. 50a) dos setores entre WNW e NW, sendo mais habitual de WNW (cerca de 65%). Relativamente a MWD no regime NAO^+ (Fig. 50b) e NAO^- (Fig. 50c) estes têm os mesmos setores (WNW e NW), e a mesma frequência de ocorrências (aproximadamente 70% e 35%, respetivamente), não havendo, assim, uma diferença visível entre regimes.



(A) Sines - JJA - Histograma da Direção Média (°)total



(B) Sines - JJA - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Sines - JJA - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. 50 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

A Figura 51 apresenta os histogramas de frequências relativas de H_s , e de H_s em regime NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, na estação de JJA. Pode verificar-se que H_s (Figura 51a) apresenta valores com mais frequência entre 0,65 m e os 0,7 m (aproximadamente 40%). Os valores de H_s no regime NAO^+ (Figura 51b) são mais frequentes entre os 0,7 m e os 0,75 m (cerca de 25%). Por outro lado, no regime NAO^- (Figura 51c) são mais incidentes entre os 0,65 m e os 0,7 m (40%). Pode verificar-se então que, em Faro no verão, os valores deste parâmetro são ligeiramente mais elevados no regime NAO^+ .

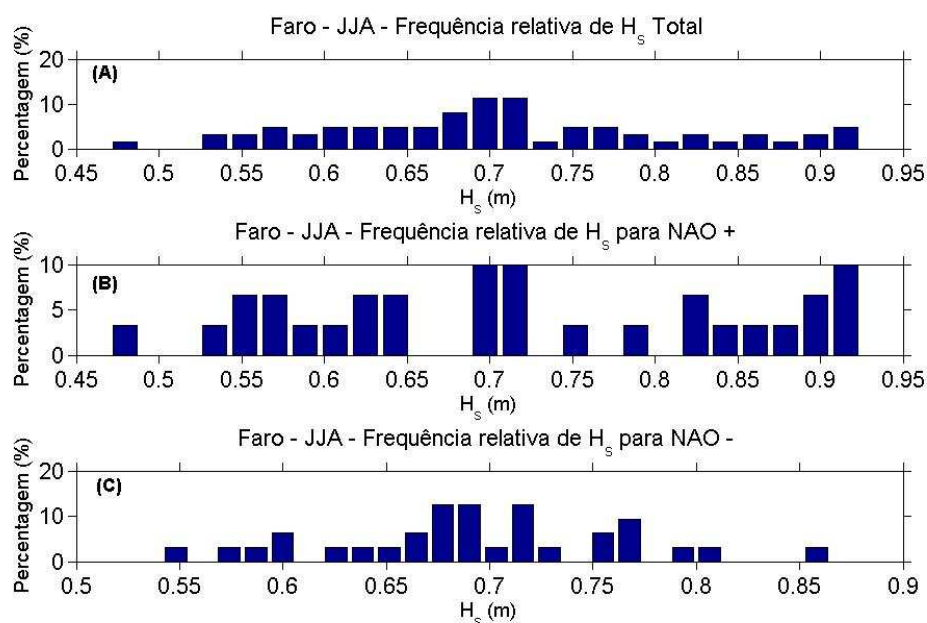


Fig. 51 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

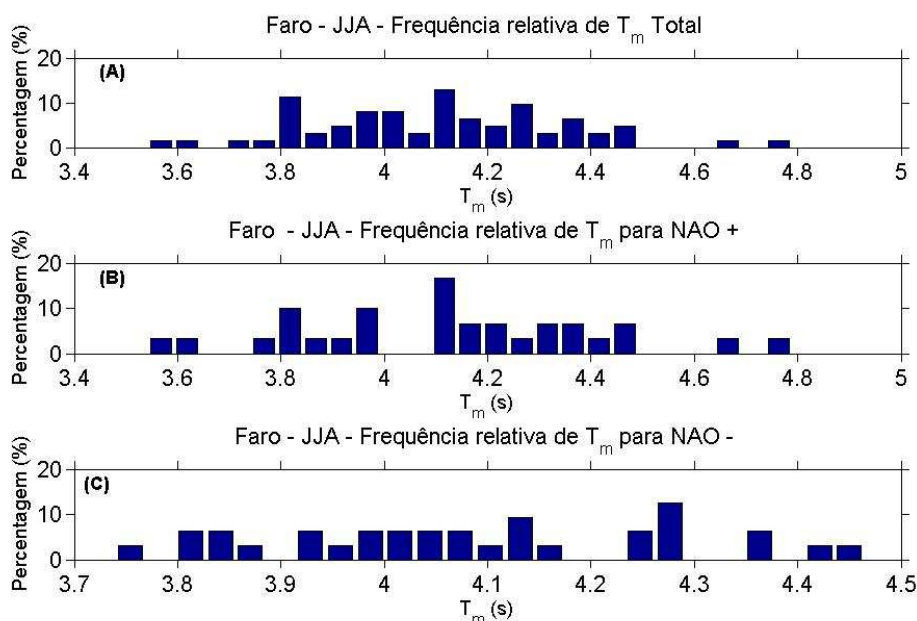
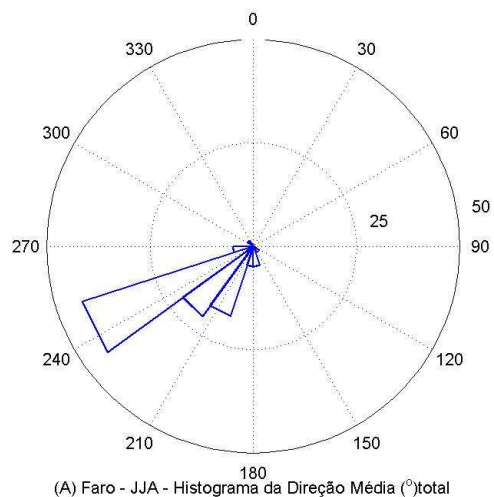


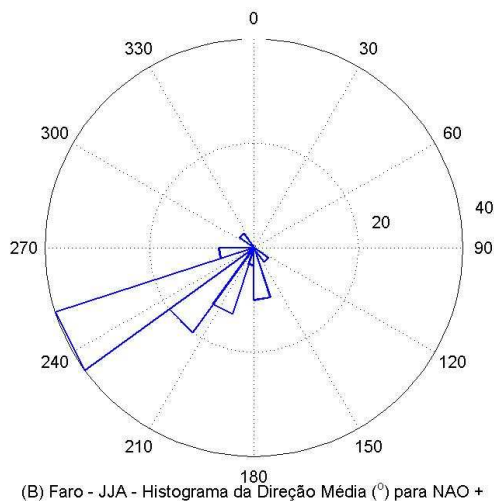
Fig. 52 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

Na Figura 52 são apresentados os histogramas de frequências relativas de T_m , e de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, em JJA. Observa-se que T_m (Figura 52a) tem uma distribuição de valores mais frequente no intervalo dos 3,8 s aos 4,2 s (cerca de 55%). Os valores de T_m no regime NAO^+ (Figura 52b) ocorrem mais frequentemente, de igual forma, entre os 3,8 s e os 4,2 s (50%). No que diz respeito aos valores de T_m no regime NAO^- (Figura 52c), estes são mais habituais entre os 4,1 s e os 4,3 s (aproximadamente 40%), podendo constatar-se que os valores deste parâmetro em regime NAO^+ são inferiores aos do regime NAO^- .

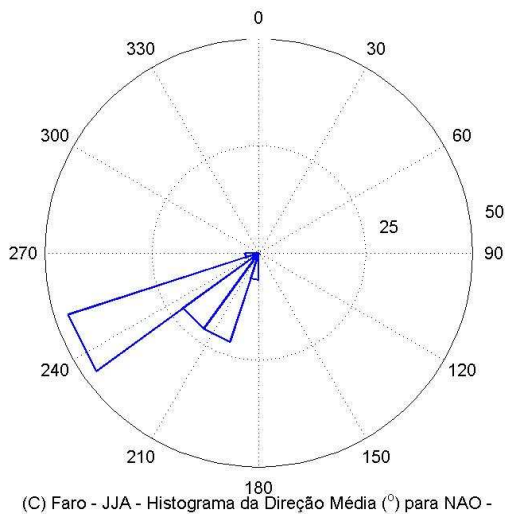
A Figura 53 contém os histogramas de frequências relativas de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para a boia de Faro, na estação de JJA. Pode verificar-se MWD (Figura 53a) de todos os setores, sendo contudo mais habitual de WSW (40%), SW (20%) e SSW (15%). No que respeita a MWD no regime NAO^+ (Figura 53b), continua a ter mais frequência do setor de WSW (40%), havendo, no entanto, também um aumento em todos os quadrantes. Já no regime NAO^- (Figura 53c), ocorre com mais frequência de WSW (cerca de 45%), SW e SSW (20% para ambos, aproximadamente). É perceptível, então, que no regime NAO^+ , MWD é mais habitual nos setores mais de N, e no regime NAO^- é mais frequente nos setores mais de S.



(A) Faro - JJA - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) total



(B) Faro - JJA - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO +



(C) Faro - JJA - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO -

Fig. 53 – Histogramas de frequências relativas sazonais (JJA) de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.



As Figuras 54 a 56 apresentam as funções densidade de probabilidade relativas às boias de Leixões, Sines e Faro respeitantes à estação JJA, em primeiro lugar de H_s , T_m e MWD , em segundo lugar de H_s , T_m e MWD no regime NAO^+ e, em terceiro lugar para o regime NAO^- .

A Figura 54 contém as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, para a estação JJA, de H_s e T_m , bem como o histograma angular de MWD . Relativamente à frequência de ocorrências do parâmetro H_s (Figura 54a) verifica-se que, em geral, os seus valores vão decrescendo com a diminuição da latitude (desde Leixões até Faro). No que diz respeito a T_m (Figura 54b), verifica-se o mesmo que na Figura 54a. No caso de MWD (Figura 54c), à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa, a direção média de proveniência da agitação marítima deixa de ser de setores mais de N e passa a ser de setores mais de S, isto é, para Leixões, a ondulação predominante de NW e WNW, para Sines WNW (maior que em Leixões) e NW (menor que em Leixões) e para Faro SW, WSW e SSW.

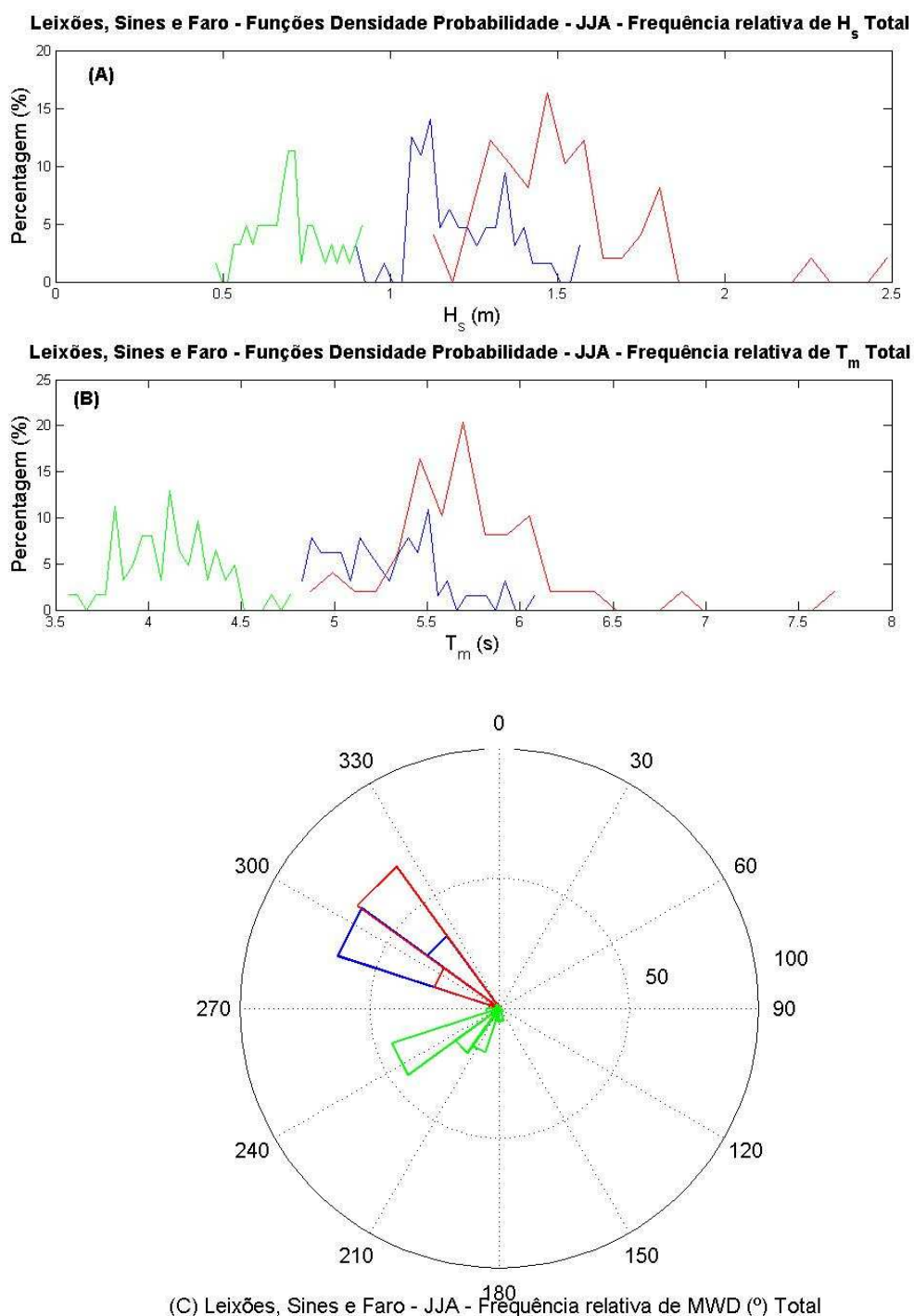
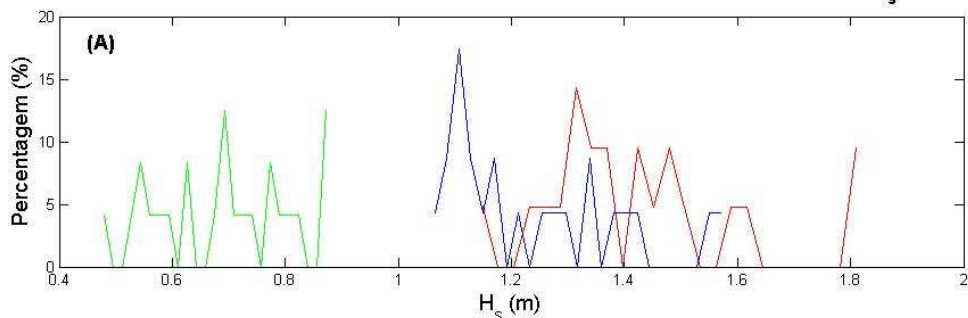


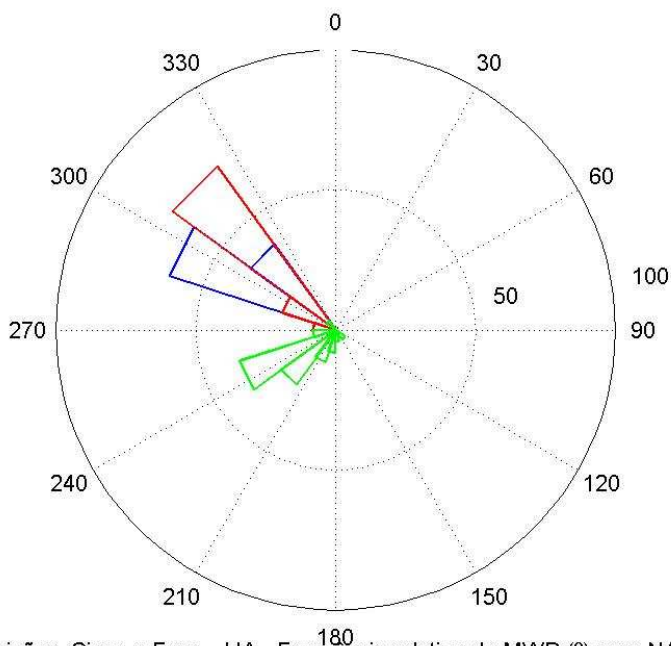
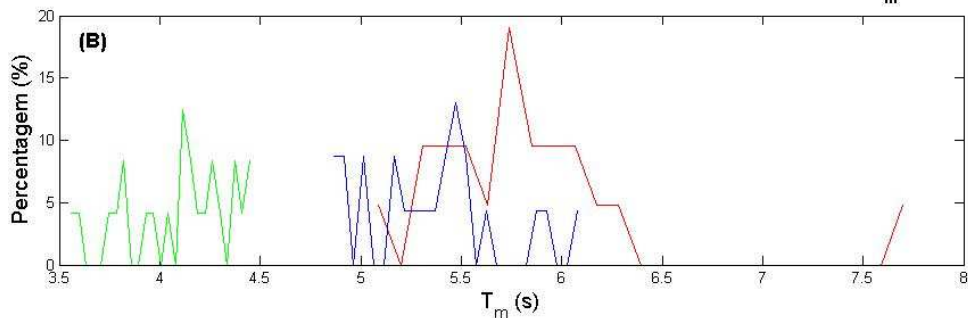
Fig. 54 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total (°, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - JJA - Frequência relativa de H_s para NAO +



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - JJA - Frequência relativa de T_m para NAO +



(C) Leixões, Sines e Faro - JJA - Frequência relativa de MWD (°) para NAO +

Fig. 55 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



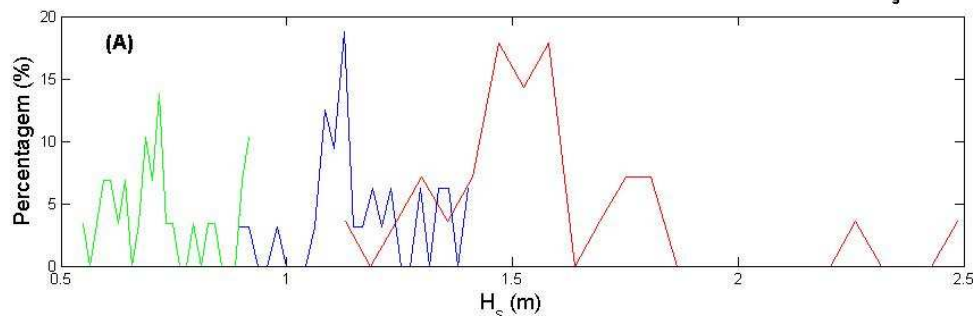
Na Figura 55 estão contidas as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e o histograma angular de MWD , no regime NAO^+ , para JJA. Verifica-se que os valores mais elevados de H_s (Figura 55a) e T_m (Figura 55b) são obtidos em Leixões, ficando Faro com os valores mais baixos. Já para MWD (Figura 55c) verifica-se que em Leixões os setores dominantes são WNW e NW, em Sines WNW (maior que Leixões) e NW (menor que Leixões), e Faro SSW, SW e WSW (havendo já uma ligeira tendência para ocupar o setor W).

A Figura 56 apresenta as funções densidade de probabilidade, relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , T_m , e o histograma angular de MWD , no regime NAO^- , para a estação JJA. Observa-se que os valores de H_s (Figura 56a) e de T_m (Figura 56b) vão decrescendo com a diminuição da latitude, à semelhança do comportamento destes parâmetros em regime NAO^+ (Figura 55). No caso de MWD (Figura 56c), Leixões tem ondulação predominante de WNW (já com tendência para ocupar o setor W), Sines WNW, e Faro WSW (sendo já visível a sua proveniência por S, embora pouco frequente).

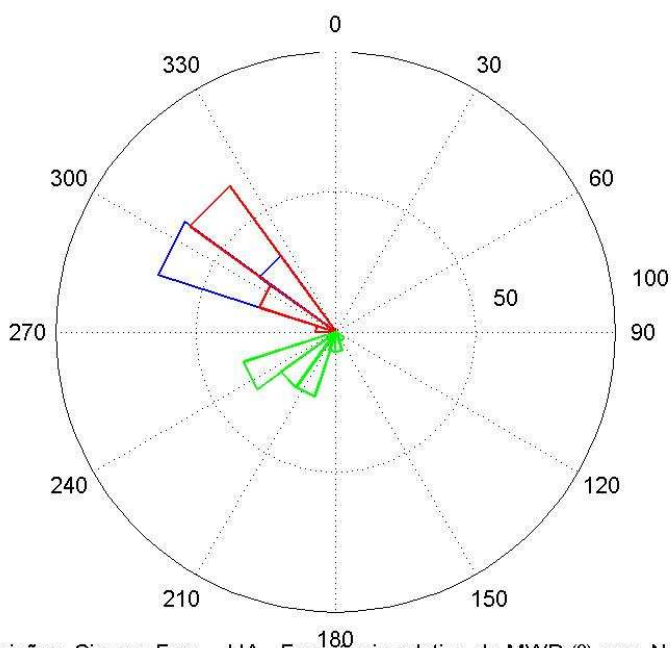
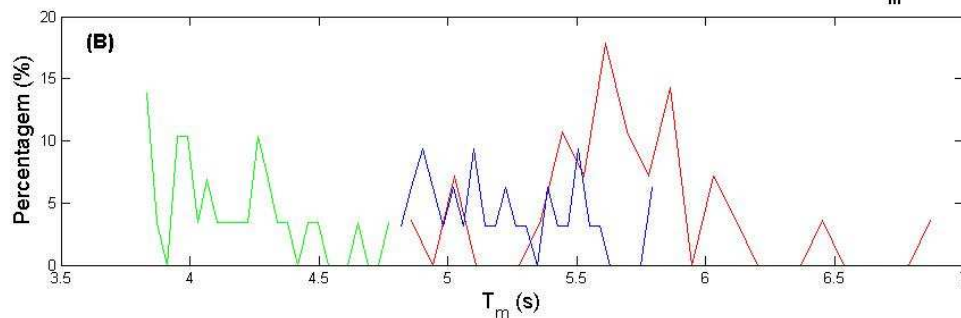
Estabelecendo uma comparação entre as Figuras 55 e 56, pode concluir-se que, na estação de JJA, para as três boias, os valores de H_s e T_m são mais elevados nos períodos de regime NAO^- , e mais baixos nos períodos de regime NAO^+ . A direção média de proveniência da agitação marítima, no regime NAO^+ apresenta-se de setores mais de N, e no regime NAO^- , dos setores mais de S.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - JJA - Frequência relativa de H_s para NAO -



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - JJA - Frequência relativa de T_m para NAO -



(C) Leixões, Sines e Faro - JJA - Frequência relativa de MWD (°) para NAO -

Fig. 56 – Funções densidade de probabilidade sazonais (JJA) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Fazendo uma análise conjunta das Figuras 42, 43, 44 (DJF), 55, 56, 57 (JJA), A22, A23, A24 (MAM), A34, A35 e A36 (SON), pode constatar-se que, de uma forma geral, a frequência de ocorrência de valores elevados dos parâmetros H_s e T_m é maior quando a latitude é mais elevada, e menor quando a latitude é mais baixa. No caso do parâmetro MWD , verifica-se que à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa, passa de setores mais de N para setores mais de S.

No entanto, analisando ao pormenor, em Leixões, enquanto que nos meses de Inverno a ondulação é predominante de WNW, nos restantes meses tem-se ondulação de NW. Em Sines, a ondulação é predominante de WNW, embora para as diferentes estações haja eventos também de W e NW, menos significativos. Já em Faro, a ondulação predominante entra pelo setor WSW, com a exceção dos meses de outono, que é predominante de SW. Ainda para esta boia, para há também de eventos de SSW nas diferentes estações, embora menos significativos.

Estabelecendo uma comparação entre a frequência de ocorrências dos parâmetros em questão e o regime NAO correspondente, verifica-se que em DJF, H_s e T_m têm valores mais elevados no regime NAO^+ , e mais baixos no regime NAO^- . Na estação de JJA, os valores de H_s e T_m são mais elevados nos períodos de regime NAO^- , e mais baixos nos períodos de regime NAO^+ . Em MAM, H_s e T_m apresentam valores mais elevados no regime NAO^+ , e mais baixos no regime NAO^- . Por fim, na estação de SON, os valores de H_s e T_m são mais elevados nos períodos de regime NAO^- , e mais baixos nos períodos de regime NAO^+ .

Relativamente a MWD :

Nos meses de inverno, em Leixões, embora a ondulação predominante seja de WNW e NW no regime NAO^+ , no NAO^- esta encontra-se de WNW e W. Em Sines, no regime NAO^+ , a ondulação predominante vem de NW e WNW, enquanto que no regime NAO^- encontra-se de WNW e W. Em Faro, independentemente do regime, a ondulação é maioritariamente de WSW.

Nos meses de primavera, em Leixões, nos períodos de regime NAO^+ , a ondulação predominante é de NW, enquanto que nos períodos de regime NAO^- , a ondulação predominante é de WNW. Em Sines e Faro, não há uma distinção significativa entre os regimes NAO , sendo em Sines a ondulação predominante de WNW e Faro WSW.



Nos meses de verão, em Leixões, quer no regime NAO^+ , quer no regime NAO^- , a ondulação é predominante de NW, havendo, no entanto, nos períodos de regime NAO^- , um aumento da ondulação de W. Em Sines, não há distinção significativa entre regimes, pelo que a ondulação predominante é proveniente de WNW. Já em Faro, embora WSW seja o setor predominante para os dois regimes, verifica-se que para regime NAO^+ , começa a ocupar mais o setor W, e para regime NAO^- , os setores SW e SSW.

Por fim, nos meses de outono, em Leixões, enquanto que no regime NAO^+ a ondulação predominante tem direção NW, no regime NAO^- tem direção WNW. Sines e Faro não apresentam uma clara distinção entre os dois regimes, pelo que a ondulação predominante em Sines é de WNW e em Faro de WSW e SW. De referir, no entanto, que, em Faro, para períodos de regime NAO^+ há tendência para ocupar setores mais de norte (W), e para períodos de regime NAO^- , começa a surgir alguma ondulação proveniente de SSW.



5.5. Análise anual e sazonal dos parâmetros H_s , T_m e MWD em função do Índice NAO , com recurso aos dados da reanálise *ERA-Interim*

As Figuras 57, 58 e 59 apresentam os valores médios anuais de H_s e T_m com MWD associada, bem como os valores médios destes parâmetros nos regimes NAO^+ e NAO^- , numa área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, no período de 1979 a 2010. Pretende-se com esta análise estudar o comportamento médio anual dos parâmetros em epígrafe, e destes em função dos dois regimes NAO , cobrindo toda a ZEE portuguesa, num período de tempo maior que o considerado nos dados das boias. De igual forma, pretende-se comparar os resultados obtidos a partir dos resultados da reanálise *ERA-Interim* com os resultados encontrados através dos registos das boias. Os limites das 3 ZEE's (Portugal Continental, Açores e Madeira), embora não estejam definidos nas Figuras desta secção, correspondem aos ilustrados na Figura 1.

Na Figura 57 são apresentados os valores médios anuais de H_s e T_m numa área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, com MWD associada (representada por setas a preto), no período de 1979 a 2010. Verifica-se que os valores médios anuais de H_s (Figura 57a) mais elevados (entre 3 m e 4 m) registam-se quando a latitude é mais elevada (a partir dos 45° N, sensivelmente). À medida que a latitude vai sendo mais baixa, encontram-se valores mais baixos (entre 1,5 m e 2 m). Junto à costa dos diferentes territórios, nomeadamente na costa S de Portugal Continental e no Arquipélago das Canárias, pode observar-se valores ainda mais baixos (entre 1 m e 1,5 m). A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE que apresenta valores médios anuais de H_s mais elevados (2 a 3 m), seguindo-se a ZEE do Arquipélago da Madeira (1,5 a 2 m), e por fim a ZEE de Portugal Continental (1 m a 2,5 m). No que diz respeito aos valores médios anuais de T_m (Figura 57b), observa-se que estes são mais elevados na ZEE portuguesa e a W das ilhas britânicas (entre os 9 s e os 9,3 s), e mais baixos tanto para W como para S da mesma (dos 8 s aos 8,8 s), nomeadamente no estreito de Gibraltar e nas Canárias. Na ZEE nacional, verificam-se valores superiores no Arquipélago dos Açores (8,6 a 9,2 s), seguindo-se a ZEE do Arquipélago da Madeira (8,6 a 9 s), e por fim a ZEE de Portugal Continental (8 a 9 s). Relativamente a MWD (Figura 57a), verifica-se que numa latitude mais elevada, é praticamente de W, e à medida que a latitude vai diminuindo, tem tendência para ocorrer por setores mais a N. A partir do



paralelo 30° N para Sul, observam-se eventos de Este (E), Sudeste (SE) e Nordeste (NE). Na ZEE nacional, constata-se que a agitação marítima é proveniente, em média, de NW para a ZEE de Portugal Continental, de WNW na ZEE do Arquipélago dos Açores, e NNW na ZEE do Arquipélago da Madeira.

Comparando os resultados obtidos a partir dos dados de reanálise com os resultados obtidos a partir dos registos das boias ondógrafo (ver Tabela A1, em anexo), pode constatar-se que, na ZEE de Portugal Continental, para o parâmetro H_s , os valores médios são bastante semelhantes: compreendem o intervalo de 1 m a 2,5 m ao nível da reanálise, e dos 1,70 m aos 2,30 m ao nível das boias. No entanto, relativamente a T_m , nota-se já alguma diferença, na medida em que os resultados obtidos a partir dos dados da reanálise compreendem o intervalo dos 8 aos 9 s, e os resultados das boias compreendem o intervalo dos 4,72 s aos 6,93 s. No que diz respeito a MWD , os dados da reanálise não estabelecem uma diferença de setores da costa W para a costa S (NW em ambos os casos), ao contrário dos dados das boias, que variam entre SW (em Faro) e NW (em Leixões).

Emboram existam diferenças de valores entre as três ZEE's, constata-se que, independentemente da ZEE, os valores de H_s são muito baixos (embora sejam mais elevados quanto maior for a latitude). Por outro lado, os valores de T_m são elevados (verificando-se igualmente que aumentam à medida que os valores da longitude vão sendo cada vez mais próximos do zero). Aliando estes factos à direção da agitação marítima, pode-se constatar que, em média, a agitação marítima tem uma geração muito distante, muito possivelmente oriunda de uma latitude mais elevada, e que tem, sensivelmente, um sentido NW-SE.

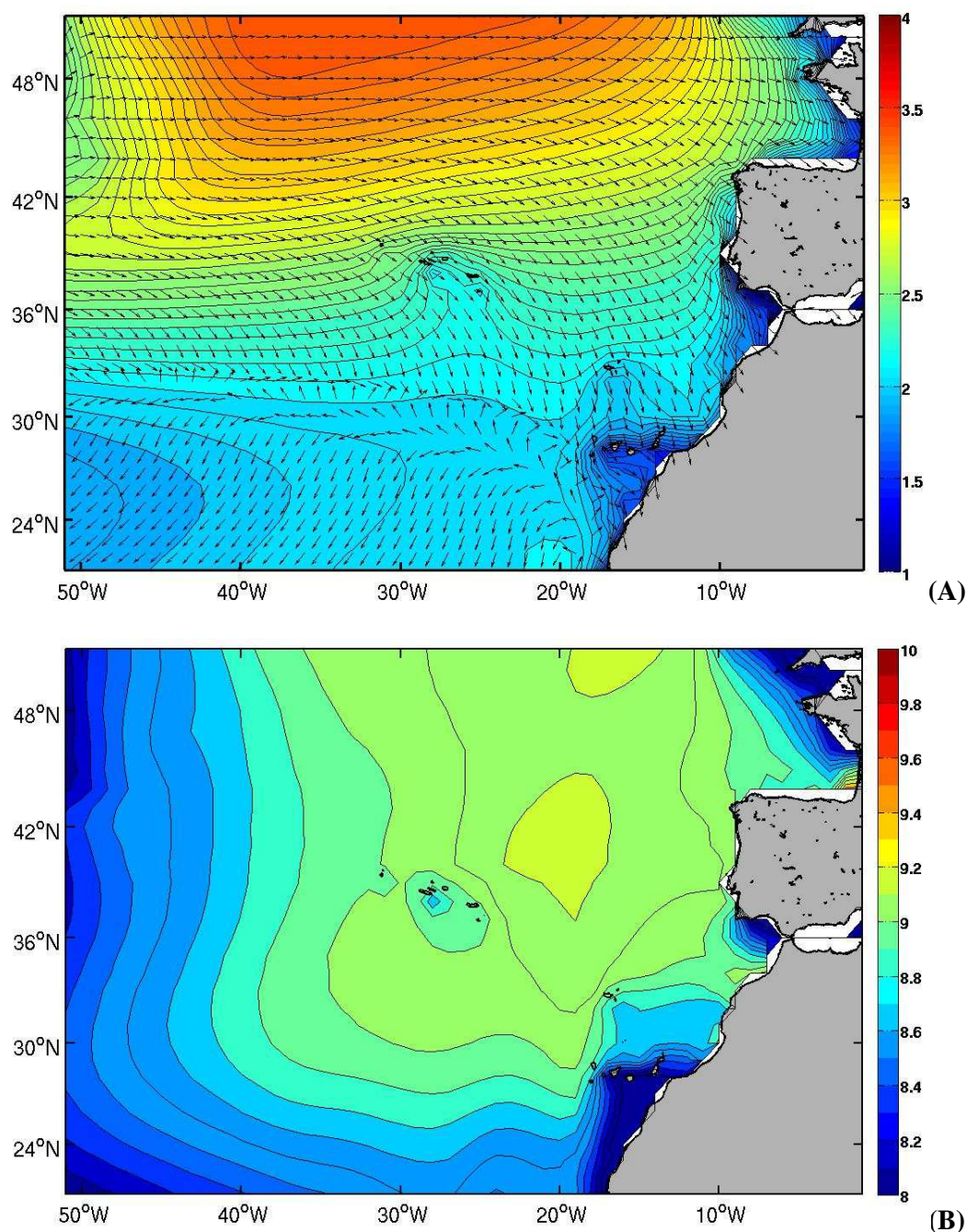


Fig. 57 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, para o período de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.

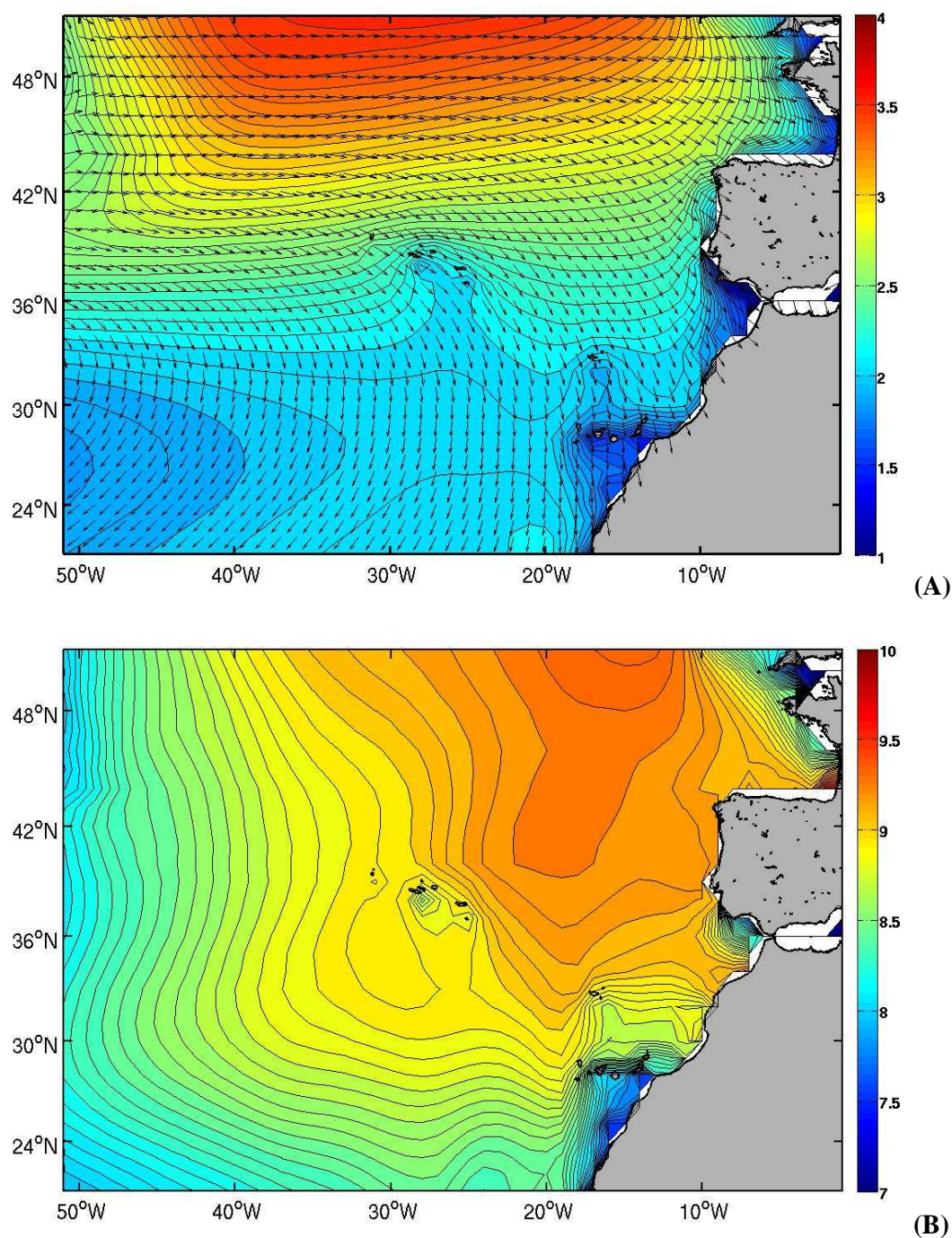


Fig. 58 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.



A Figura 58 contém os valores médios anuais de H_s e T_m com *MWD* associada (representada por setas a preto), na zona do Atlântico Norte onde se encontra a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^+ , de 1979 a 2010. Pode observar-se que a distribuição dos valores médios de H_s (Figura 58a) compreende o intervalo entre 1 m e os 3,5 m. Os valores mais elevados situam-se sensivelmente acima dos 42° N (dos 2,7 m aos 3,5 m). Deste paralelo para Sul, os valores vão sendo cada vez mais baixos (encontram-se entre 1 m e os 2,7 m aproximadamente). Ao largo das Canárias, na costa S de Portugal Continental e no NW africano são registados os valores mais baixos (1 m a 1,5 m). A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE que apresenta valores médios de H_s mais elevados (1,8 a 2,8 m sensivelmente), seguindo-se a ZEE de Portugal Continental (1 a 2,5 m; os valores mais elevados são encontrados na costa W), e por fim a ZEE da Madeira (1,7 m a 2,3 m). No que diz respeito aos valores médios de T_m (Figura 58b), observa-se que estes têm uma distribuição dos 7 s aos 9,7 s, e são mais elevados no NW da Península Ibérica e no NW do continente africano (entre os 8,8 s e os 9,6 s) e mais baixos tanto para Oeste do meridiano 40° W como para Sul do paralelo 30° N (dos 7 s aos 9 s), atingindo os seus valores mais baixos a SE das Canárias (dos 7 s aos 8 s). Na ZEE nacional, verificam-se valores ligeiramente superiores em Portugal Continental (7,5 a 9,5 s), seguindo-se a ZEE do Arquipélago da Madeira e dos Açores com o mesmo intervalo de valores (8,5 a 9,3 s). Relativamente a *MWD* (Figura 58a), verifica-se que numa latitude mais elevada (acima dos 48° N), encontra-se praticamente de W, e à medida que a latitude vai diminuindo (até aos 36° N), observam-se eventos de NW, N e Nordeste (NE). Deste paralelo para Sul, o setor predominante é NE. Ao nível da ZEE nacional, constata-se que a agitação marítima é proveniente, em média, de NW para a ZEE de Portugal Continental, de WNW na ZEE do Arquipélago dos Açores, e NNW na ZEE do Arquipélago da Madeira.

Estabelecendo uma comparação dos resultados acima obtidos com os resultados obtidos a partir dos registos das boias ondógrafo, pode verificar-se que, na ZEE de Portugal Continental, relativamente a H_s , os valores médios são relativamente semelhantes: compreendem o intervalo de 1 m a 2,5 m obtidos através da reanálise, e dos 0,97 m aos 2,33 m calculados através dos dados das boias. No entanto, relativamente a T_m , é notória já alguma diferença, na medida em que os resultados obtidos a partir dos dados da reanálise compreendem o intervalo dos 8,5 s aos 9,3 s e os resultados das boias compreendem o intervalo dos 4,64 s (em Faro) aos 7,15 s (em



Leixões). No que diz respeito a *MWD*, os dados da reanálise continuam a não estabelecer uma diferença de setores da costa W para a costa S (NW em ambos os casos), ao contrário dos dados fornecidos pelas boias, que variam entre SW (na costa S) e NW (em Leixões).

Através da Figura 59, onde estão ilustrados os valores médios anuais de H_s e T_m , com *MWD* associada (representada por setas a preto), na área do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, nos períodos de regime *NAO*, de 1979 a 2010, constata-se que os valores médios de H_s (Figura 59a) estão distribuídos no intervalo de 1 m aos 3,3 m. Os valores mais altos situam-se acima dos 42° N (aproximadamente, dos 2,8 m aos 3,3 m). Dos 42° N para Sul, os valores vão decrescendo (encontram-se entre 1 m e os 3,3 m sensivelmente). Ao largo das Canárias, na costa S de Portugal Continental, do NW africano e a S das ilhas britânicas são obtidos os valores mais baixos (de 1 m a 1,5 m). A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE nacional que apresenta valores médios mais altos (2 a 2,8 m), ao que se segue a ZEE de Portugal Continental (com valores entre 1 e 2,5 m), e por último, a ZEE do Arquipélago da Madeira (entre 1,8 m e 2,3 m). Relativamente aos valores médios de T_m (Figura 59b), observa-se que estes estão distribuídos dos 7,5 s aos 9,3 s, sendo mais elevados ao largo dos Açores, a W e a NW da Península Ibérica, bem como a NW dos Arquipélagos da Madeira e Canárias (entre os 8,8 s e os 9,3 s sensivelmente). Pelo contrário, registam-se valores mais baixos tanto para Oeste do meridiano 40° W como para Sul do paralelo 24° N (encontram-se no intervalo dos 7,5 aos 8,5 s), atingindo os seus valores mais baixos a SE das Canárias, a S de Portugal Continental e ao largo das ilhas britânicas (aproximadamente, dos 7s aos 8 s). Na ZEE nacional, verificam-se valores ligeiramente mais elevados ao largo do Arquipélago dos Açores (dos 8,8 s aos 9,3 s), e mais baixos no Arquipélago da Madeira (8,7 a 9,3 s) e em Portugal Continental (entre os 7,5 s e os 9 s). No que diz respeito a *MWD* (Figura 59a), verifica-se que para Norte do paralelo 44° N, encontra-se W e WNW, e à medida que a latitude vai diminuindo, até aos 33° N, ocupa os setores de NW e NNW. Deste paralelo para Sul, os setores predominantes são NNE e NE. Ao nível da ZEE nacional, constata-se que a agitação marítima é proveniente, em média, de NW para a ZEE de Portugal Continental, de WNW na ZEE do Arquipélago dos Açores, e NNW na ZEE do Arquipélago da Madeira.



Estabelecendo uma comparação entre os resultados aqui obtidos e os das boias ondógrafo, pode verificar-se que, na ZEE de Portugal Continental, relativamente a H_s , os valores médios obtidos através da reanálise são em tudo semelhantes aos calculados através dos dados das boias: os primeiros compreendem o intervalo de 1 m a 2,5 m obtidos, e os segundos dos 1,18 m aos 2,27 m. No que diz respeito a T_m , nota-se já alguma diferença, na medida em que os resultados obtidos a partir dos dados da reanálise compreendem o intervalo dos 7,5 s e os 9 s e os resultados das boias situam-se no intervalo dos 4,81 s (em Faro) aos 6,75 s (em Leixões). Já para o parâmetro MWD , ocorre mesmo que no regime NAO^+ .

Comparando os resultados obtidos para todos os regimes NAO (Figura 57) com os encontrados no regime NAO^+ (Figura 58) é notório que os valores médios de T_m são ligeiramente mais elevados nos segundos que nos primeiros. Por outro lado, nos valores de H_s não é perceptível uma diferença significativa, e nos valores de MWD essa diferença só é notória no paralelo 30° N. Relativamente à comparação dos resultados obtidos para todos os regimes NAO (Figura 57) com os encontrados no regime NAO^- (Figura 59) pode-se verificar que valores mais elevados dos parâmetros podem ser encontrados numa latitude mais a Sul durante os períodos de regime NAO^- , relativamente aos valores para todos os regimes NAO . Nos valores de MWD essa diferença também só é notória no paralelo 30° N.

Comparando agora os resultados obtidos no regime NAO^+ (Figura 58), com os do regime NAO^- (Figura 59), é notório que, em geral, os valores médios de H_s são mais elevados nos períodos de regime NAO^+ , e por sua vez mais baixos nos períodos de regime NAO^- . Ao nível da ZEE nacional, em Portugal Continental não existe uma clara diferença entre regimes, sendo essa diferença mais perceptível nos Açores (em que os valores são ligeiramente maiores no regime NAO^+) e no Arquipélago da Madeira (os seus valores são ligeiramente maiores nos períodos de regime NAO^-). Para T_m , observa-se que, no geral, os seus valores são mais elevados nos períodos de regime NAO^+ . No entanto verifica-se que, no regime NAO^- , os valores mais altos deste parâmetro estão distribuídos por uma superfície mais ampla, isto é, fazem-se sentir um pouco por todo o painel, ao contrário do regime NAO^+ , em que os valores encontram-se distribuídos por uma área mais estrita (a NW da Península Ibérica). No que diz respeito ao parâmetro MWD , não são perceptíveis diferenças de setores entre os dois regimes para a ZEE



nacional, visto serem praticamente os mesmos (ZEE de Portugal Continental: NW; ZEE do Arquipélago dos Açores: WNW; ZEE do Arquipélago da Madeira: NNW).

A diferença observada do comportamento destes parâmetros de acordo com o regime *NAO*, sugere que a agitação marítima tenha uma geração numa latitude mais elevada nos períodos de regime *NAO*⁺, e numa latitude mais baixa, nos períodos de regime *NAO*⁻.

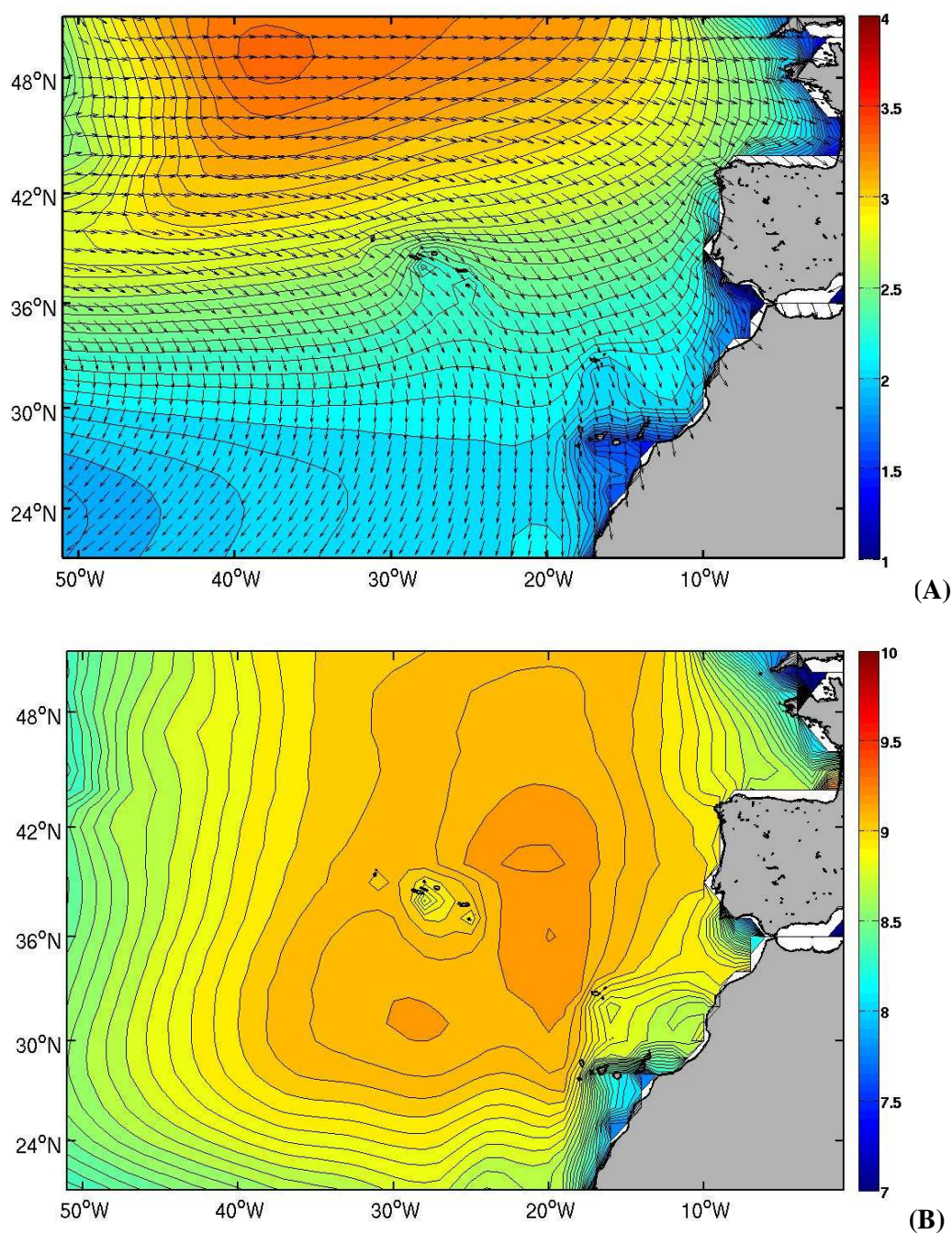


Fig. 59 – H_s e T_m médio anual na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio anual (em metros), com a MWD associada (em graus, representada por seta preta), e em (B) está representado T_m médio anual (em segundos). Para (B) os dados de MWD são os mesmos que em (A). A cor da escala varia entre os painéis.



As Figuras 60 e 61 apresentam os valores médios de H_s e T_m , com MWD associada, numa área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, para as estações de DJF e JJA, no período de 1979 a 2010.

A Figura 60 contém os valores médios de H_s , com MWD associada (representada por setas a preto), para as estações DJF e JJA, numa área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, no período de 1979 a 2010. Observa-se que, em DJF (Figura 60a), os valores mais elevados de H_s ocorrem a partir dos 48° N para Norte (entre 4 m e 5 m). A partir da latitude do Arquipélago dos Açores para Sul, verificam-se valores cada vez mais baixos (entre 1 m e 3,5 m). A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE que tem valores médios de H_s mais elevados (3 a 4 m), ao que se seguem a ZEE de Portugal Continental (1 a 3,5 m), e em último, a ZEE da Madeira (2,3 a 2,8 m). Já em JJA (Figura 60b), os valores mais altos do painel encontram-se igualmente acima dos 48° N, mas no entanto, com valores menores aos de DJF (2 a 2,2 m). Os valores mais baixos encontram-se ao largo das Canárias, Açores, S de Portugal Continental e N da Península Ibérica (dos 1 m aos 1,6 m). Dentro da ZEE nacional, a ZEE de Portugal Continental é a que apresenta valores mais elevados (1 a 1,8 m), seguindo-se a Madeira (1,4 a 1,6 m) e os Açores (1,2 a 1,6 m). Relativamente a MWD , nota-se que, tanto em DJF como em JJA, numa latitude mais elevada ocupa o setor de W. No entanto, a partir do paralelo 30° N para Sul, verifica-se que, enquanto que em DJF encontra-se praticamente de todos os setores, em JJA apresenta-se maioritariamente de NE. Na ZEE portuguesa, enquanto que em DJF, os Açores apresentam uma direção média de proveniência da agitação marítima de WNW, em JJA tem tendência para passar para setores mais de Norte (NW). No caso da ZEE de Portugal Continental, em DJF encontra-se de WNW e NW, e em JJA dos setores de NW e NNW. Na Madeira, MWD apresenta-se de NNW, mas nos meses de verão apresenta-se de todos os setores. Conclui-se que, na ZEE portuguesa, a agitação marítima regista valores médios de H_s elevados e MWD mais de WNW em DJF, ao contrário do verão, que apresenta valores médios de H_s mais baixos e MWD de NW e NNW.

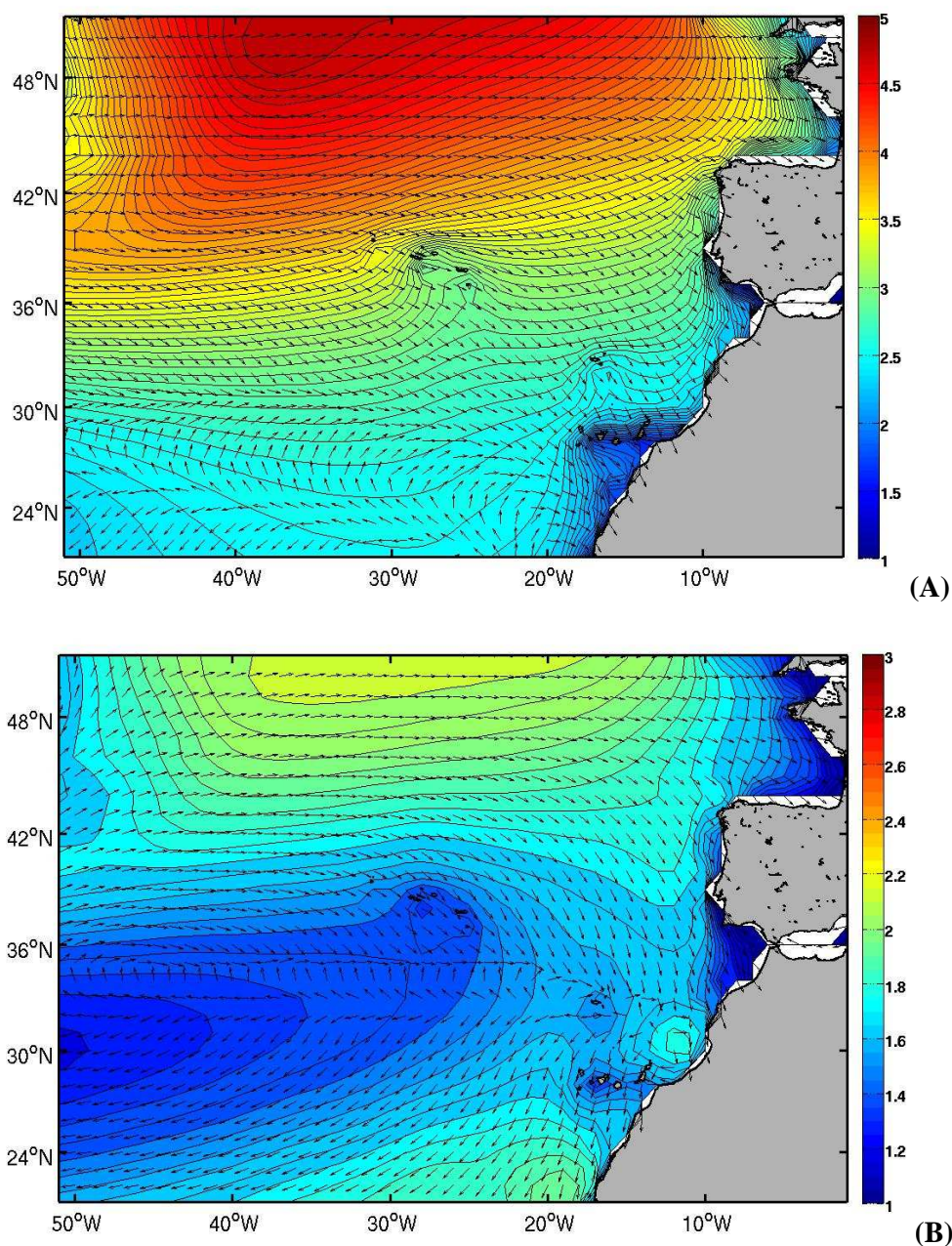


Fig. 60 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, no período de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com MWD associada (em graus). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com MWD associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.

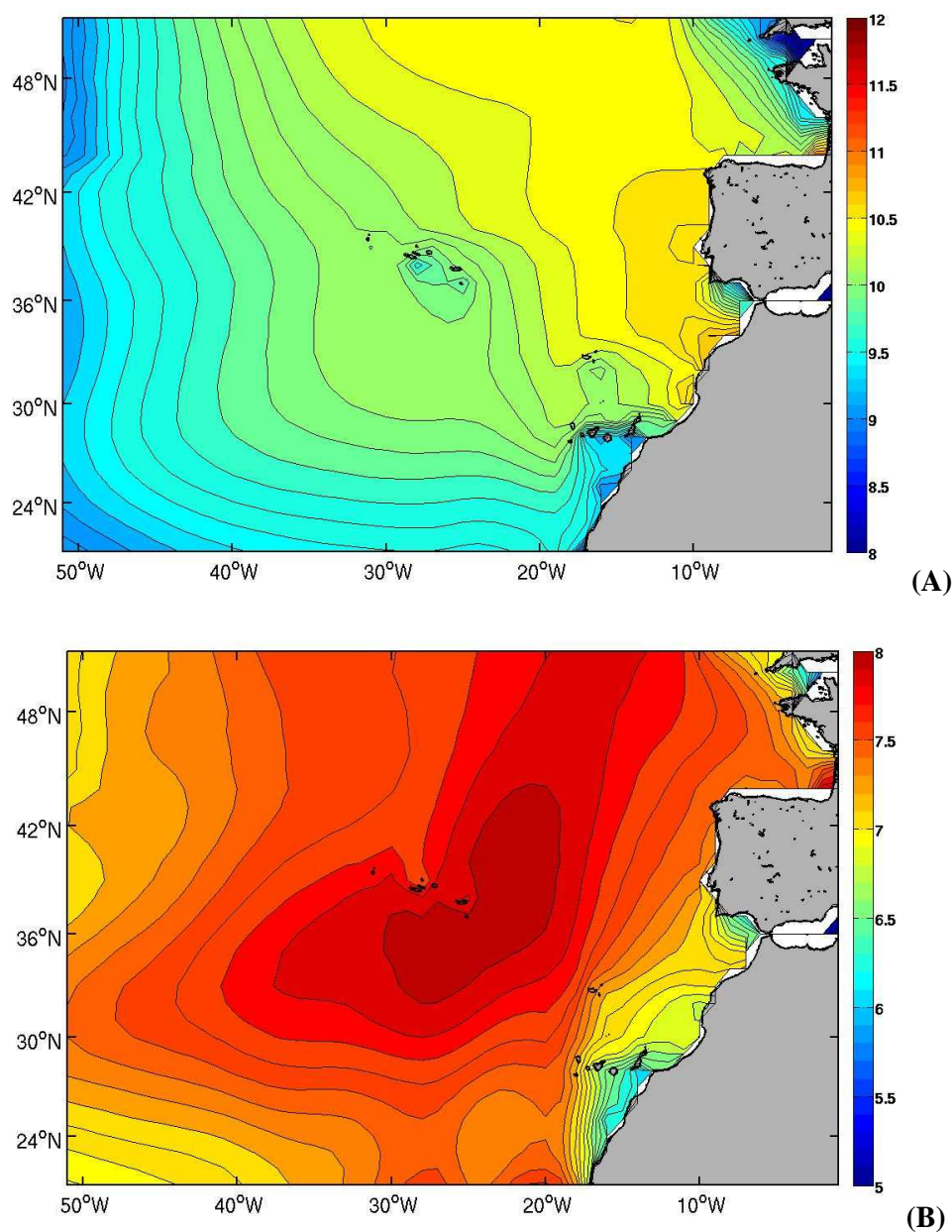


Fig. 61 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, no período de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A MWD associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 60, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.



Através da Figura 61, onde são apresentados os valores médios de T_m para as estações de DJF e JJA, na área do Atlântico Norte onde se encontra a ZEE nacional, no período de 1979 a 2010, pode verificar-se que, em DJF (Figura 61a), a parte do Atlântico Norte adjacente ao NW africano e ao NW de Portugal Continental é a que apresenta os valores médios de T_m mais elevados (sensivelmente entre os 10,4 s e os 10,7 s). Por outro lado, nota-se que a W e a S dos Açores, os valores médios de T_m têm tendência para diminuir (situam-se aproximadamente entre os 8,5 s e os 10 s). Especificamente para a ZEE nacional, a ZEE de Portugal Continental é a ZEE que tem valores médios mais elevados (9 a 11 s), seguindo-se a ZEE da Madeira (10 a 10,5 s), e em último, a ZEE do Arquipélago dos Açores (9 a 10,3 s). Por outro lado, na estação de JJA (Figura 61b), comparativamente a DJF, os valores são mais baixos. Verifica-se em praticamente todo o painel valores no intervalo dos 7 s aos 8 s, sendo que são ainda mais baixos nas regiões costeiras do S de Portugal Continental e NW africano (entre os 6 s e os 7 s, aproximadamente). Ao nível da ZEE nacional, a ZEE dos Açores é a que apresenta valores mais altos (7,5 a 8 s), ficando a Madeira e Portugal Continental com os valores mais baixos (7 a 7,5 s, e 6 a 7,5 s respetivamente). Constata-se, assim, que T_m tem valores médios mais elevados nos meses de inverno, e mais baixos nos meses de verão.

Com base nas Figuras 60 e 61, verifica-se que os meses de inverno são o período do ano em que se observam valores médios de H_s e T_m mais elevados (Figuras 60a e 61a). Por outro lado, os meses de Verão (JJA) são a altura do ano em que se registam valores médios de H_s e T_m mais baixos (Figuras 60b e 61b), sugerindo que em DJF a agitação marítima tem uma geração mais distante (relativamente à ZEE nacional) que em JJA. Comparando os valores médios entre as três ZEE's, pode-se afirmar que, de um modo geral, a ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE com valores médios de H_s mais elevados, e valores médios de T_m mais baixos. Ora, uma possível explicação para este fenómeno poderá ser o fato de a ZEE do Arquipélago dos Açores ser a primeira das três a estar sujeita às condições de agitação marítima proveniente de uma latitude mais elevada. Já a ZEE de Portugal Continental apresenta valores médios de H_s mais baixos (especialmente na região Sul, devido ao efeito “abrigo” derivado do recorte da costa), mas valores médios de T_m mais elevados (especialmente na região Norte). Por fim, apesar da ZEE do Arquipélago da Madeira registar os valores mais baixos de H_s ,



apresenta valores médios de T_m ligeiramente mais elevados que nos Açores. No que diz respeito a MWD (representada na Figura 60), nos meses de DJF, encontra-se pelos setores de NW em Portugal Continental, por WNW nos Açores, e por NNW na Madeira, tendo tendência para, há medida que se aproximam os meses de JJA, ocupar NNW em Portugal Continental, NW nos Açores e todos os quadrantes na Madeira. Aliando o comportamento de H_s e T_m ao comportamento de MWD , constata-se que a agitação marítima, proveniente de uma latitude mais elevada, atinge em primeiro lugar a ZEE do Arquipélago dos Açores, seguindo-se posteriormente as ZEE's de Portugal Continental e do Arquipélago da Madeira, que se encontram mais afastadas da zona de geração.

Por fim, estabelecendo uma comparação entre os resultados obtidos nas Figuras 60 e 61 e os resultados obtidos a partir dos dados das boias, pode observar-se que, ao nível da ZEE de Portugal Continental, os valores médios de H_s obtidos em DJF através da reanálise, são relativamente parecidos aos registados por meio dos dados das boias: os primeiros situam-se no intervalo de 1 a 3,5 m, e os segundos dos 1,47 m aos 3,18 m. Por outro lado, os valores médios de H_s obtidos na estação de JJA através da reanálise também são idênticos aos calculados através dos dados das boias: os primeiros compreendem o intervalo de 1 a 1,8 m, e os segundos dos 0,71 m aos 1,51 m. No que diz respeito a T_m , os valores médios obtidos em DJF apresentam alguma diferença, na medida em que os resultados registados a partir dos dados da reanálise compreendem o intervalo dos 9 aos 11 s e os valores obtidos através das boias encontram-se no intervalo entre os 5,37 s e os 8,12 s. Relativamente aos valores médios obtidos em JJA, a diferença continua a fazer-se notar: os resultados obtidos a partir dos dados da reanálise compreendem o intervalo dos 6 a 7,5 s e os resultados das boias situam-se no intervalo dos 4,11 s (em Faro) aos 5,73 s (em Leixões). O parâmetro MWD , ao nível dos dados da reanálise, continua a apresentar-se de setores mais de WNW (em DJF) e de NW e NNW (em JJA). Pelo contrário, os resultados obtidos através das boias revelam direção média de propagação entre SW (em Faro) e NW (Leixões) em ambas as estações.



Nas Figuras 62 e 63 são apresentados os valores médios sazonais, referentes às estações DJF e JJA, de H_s e T_m com MWD associada, numa área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^+ , entre 1979 e 2010.

A Figura 62 ilustra H_s médio nas estações de DJF e JJA, com MWD associada (representada por setas a preto), na área da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^+ , de 1979 a 2010. Pode verificar-se que, em DJF (Figura 62a), os valores apresentam uma distribuição de 1 m aos 5 m, e são mais elevados a Norte do paralelo 42° N (entre 3,5 m e 5 m). A Sul deste paralelo observam-se valores cada vez mais baixos (de 1 a 3,5 m). A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE que regista valores médios de H_s mais elevados (entre 2,5 m e 3,7 m), ao que se seguem a ZEE de Portugal Continental (de 1 m a 3,3 m), e em último, a ZEE da Madeira (2,5 a 3 m). Em JJA (Figura 62b), os valores estão contidos no intervalo de 1 m aos 2,3 m, podendo os mais elevados ser encontrados acima dos 48° N, tendo, no entanto, valores mais baixos que os obtidos em DJF. Entre os 42° N até aos 24° N, verificam-se valores cada vez mais baixos (entre 1 m e 1,7 m). A Sul da latitude 24° N os valores voltam a aumentar (compreendem o intervalo entre 1,7 m e 2 m). Dentro da ZEE nacional, a ZEE de Portugal Continental é a que apresenta valores mais elevados (de 1 m a 1,7 m), seguindo-se a Madeira (1 a 1,5 m) e, por fim, os Açores (1 a 1,3 m). Pode constatar-se então, que em DJF, tanto no painel em geral como na ZEE nacional, os valores médios deste parâmetro são mais elevados que em JJA.

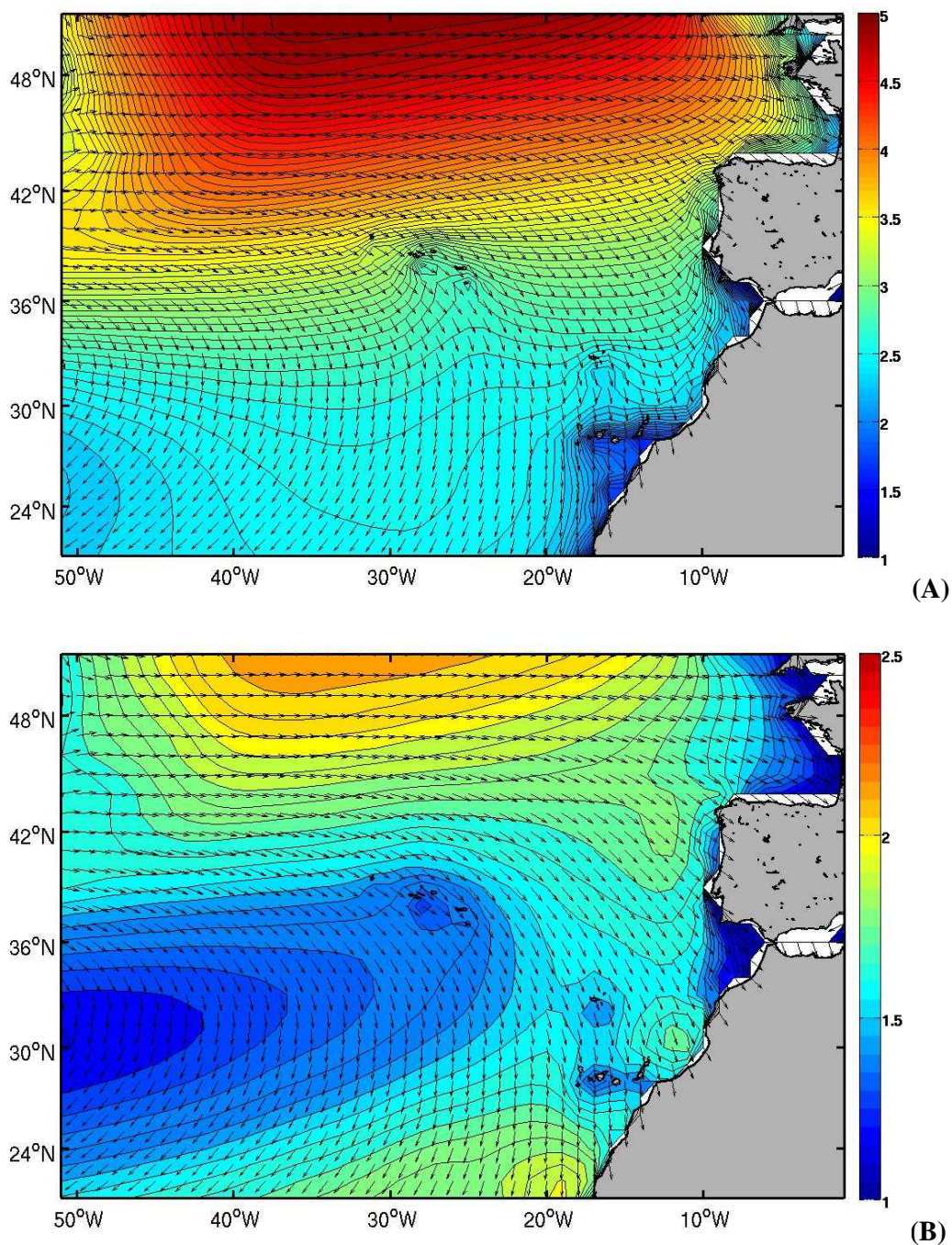


Fig. 62 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, períodos de regime *NAO* positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com *MWD* associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.

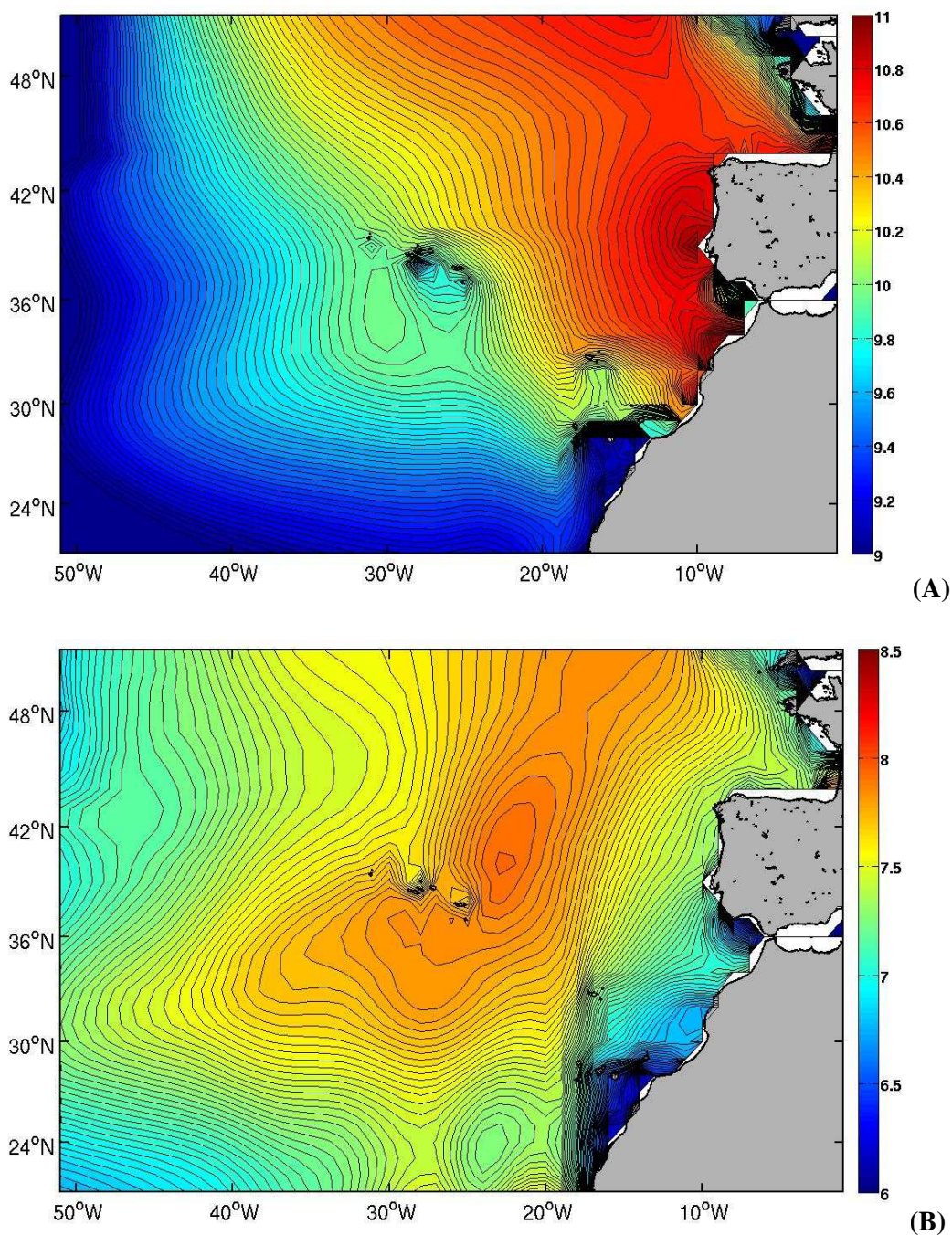


Fig. 63 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime *NAO* positivo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A MWD associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 62, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.



A Figura 63 contém os valores médios de T_m para as estações de DJF e JJA, na bacia do Atlântico Norte onde se situa a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^+ , de 1979 a 2010. Pode constatar-se que, em DJF (Figura 63a), os valores deste parâmetro situam-se entre os 9 s e os 11 s. As áreas do Atlântico Norte adjacentes ao NW da Península Ibérica e do continente africano são as áreas que apresentam os valores médios de T_m mais elevados (aproximadamente entre os 10,6 s e os 11 s). Por outro lado, é notório que a W e a S dos Açores, os valores médios de T_m vão sendo cada vez mais baixos (situam-se sensivelmente entre os 9 s e os 10,2 s). Especificamente para a ZEE nacional, a ZEE de Portugal Continental é a ZEE que apresenta valores médios mais elevados (entre os 10,6 e os 11 s), seguindo-se a ZEE da Madeira (10 a 10,4 s), e em último, os Açores (9,8 a 10,2 s). Na estação de JJA (Figura 63b), comparando com DJF, os valores são mais baixos (entre os 6 s e os 8 s, sensivelmente). Os valores mais elevados encontram-se entre os meridianos 35° W e 15° W (7,5 a 8 s). Os mais baixos encontram-se para Oeste de 35° W e para Leste de 15° W (aproximadamente entre os 6 s e os 7,5 s). No que diz respeito à ZEE nacional, a ZEE dos Açores é a que apresenta valores mais elevados (7,5 a 8 s), ficando as ZEE's da Madeira e de Portugal Continental com os valores mais baixos (7 a 7,5 s, e 6 a 7,5 s respetivamente). Conclui-se assim, que T_m tem valores médios mais elevados nos meses de inverno, e mais baixos nos meses de verão.



As Figuras 64 e 65 ilustram os valores médios sazonais de H_s e T_m com MWD associada, relativos a DJF e JJA, na bacia do Atlântico Norte que contém a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^- , de 1979 a 2010.

Na Figura 64 são apresentados os valores médios de H_s com MWD associada (representada por setas a preto), referentes à estação de DJF e JJA, na área do Atlântico Norte que contém a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^- , de 1979 a 2010. Pode verificar-se que, em DJF (Figura 64a), os valores estão distribuídos entre 1 m e 4,6 m, e são, sensivelmente, mais elevados a Norte do paralelo 36° N (dos 3 m aos 4,6 m). Deste paralelo para Sul, verificam-se valores progressivamente mais baixos (entre 1 m e 3 m), nomeadamente a S de Portugal Continental, ao largo do Arquipélago das Canárias e a SW de França. A ZEE do Arquipélago dos Açores é a ZEE que regista valores médios de H_s mais elevados (entre 3 m e 4,3 m), seguindo-se a ZEE de Portugal Continental (de 1 m a 3,3 m), e por último, a a Madeira (2,5 a 3 m). Em JJA (Figura 64b), os valores encontram-se no intervalo entre 1 m e os 2,3 m, podendo os mais elevados ser registados a Norte do paralelo 44° N. Entre os paralelos 38° N e os 26° N, verificam-se valores mais baixos (sensivelmente entre 1 m e 1,7 m). Para Sul, os valores voltam a aumentar (compreendem aproximadamente o intervalo entre 1,5 m e os 2 m). Dentro da ZEE nacional, a ZEE da Madeira é a que apresenta valores mais elevados (de 1,4 m a 1,7 m), seguindo-se Portugal Continental (1 a 1,7 m) e, em último, o Arquipélago dos Açores (1,3 a 1,6 m). Pode verificar-se então, que no regime NAO^- , em DJF, os valores médios deste parâmetro são maiores que os encontrados em JJA.

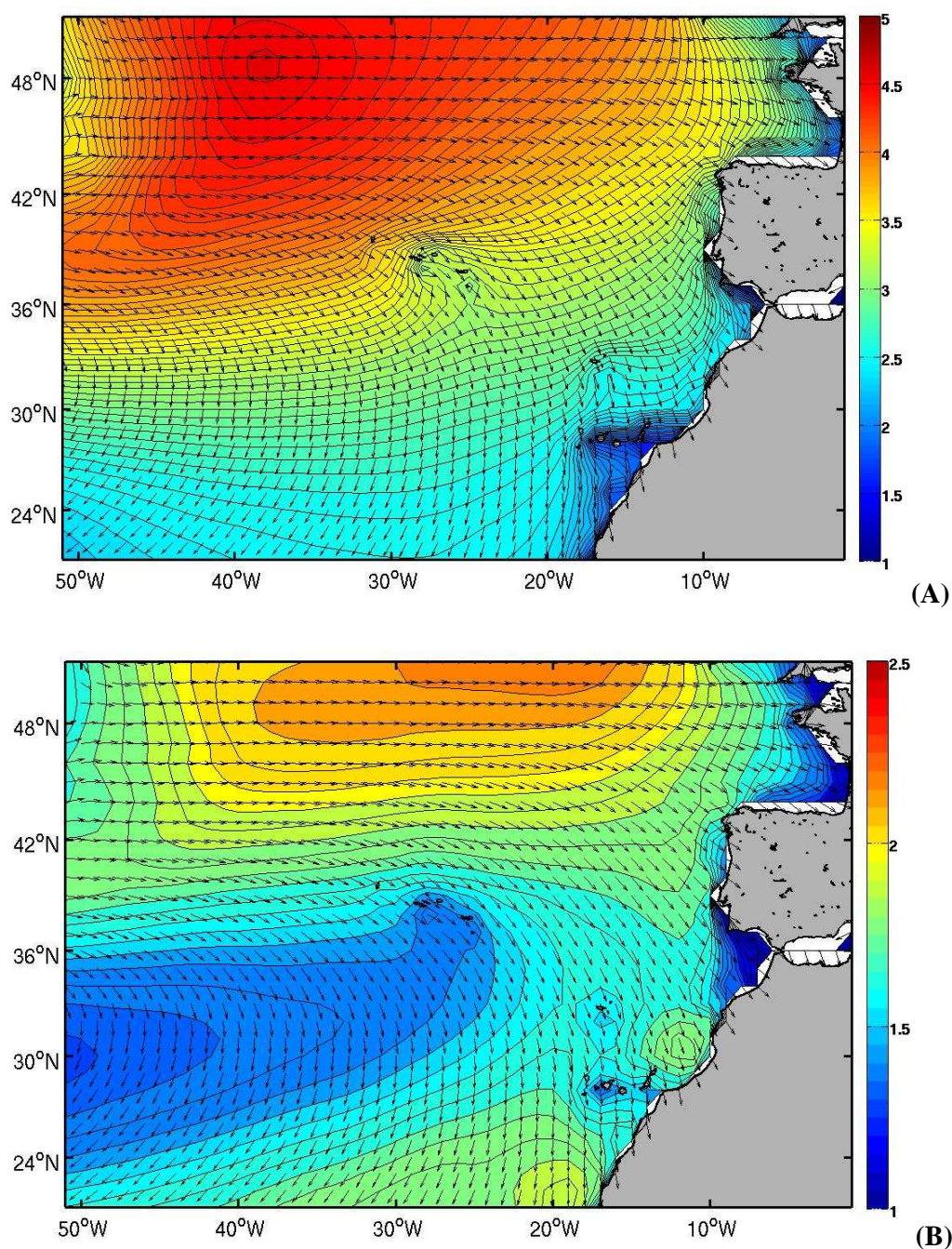


Fig. 64 – H_s médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado H_s médio (em metros) para os meses de DJF, com MWD associada (em graus, representada por seta preta). Em (B) está representado H_s médio (em metros) para os meses de JJA, com MWD associada (em graus, representada por seta preta). A cor da escala varia entre os painéis.

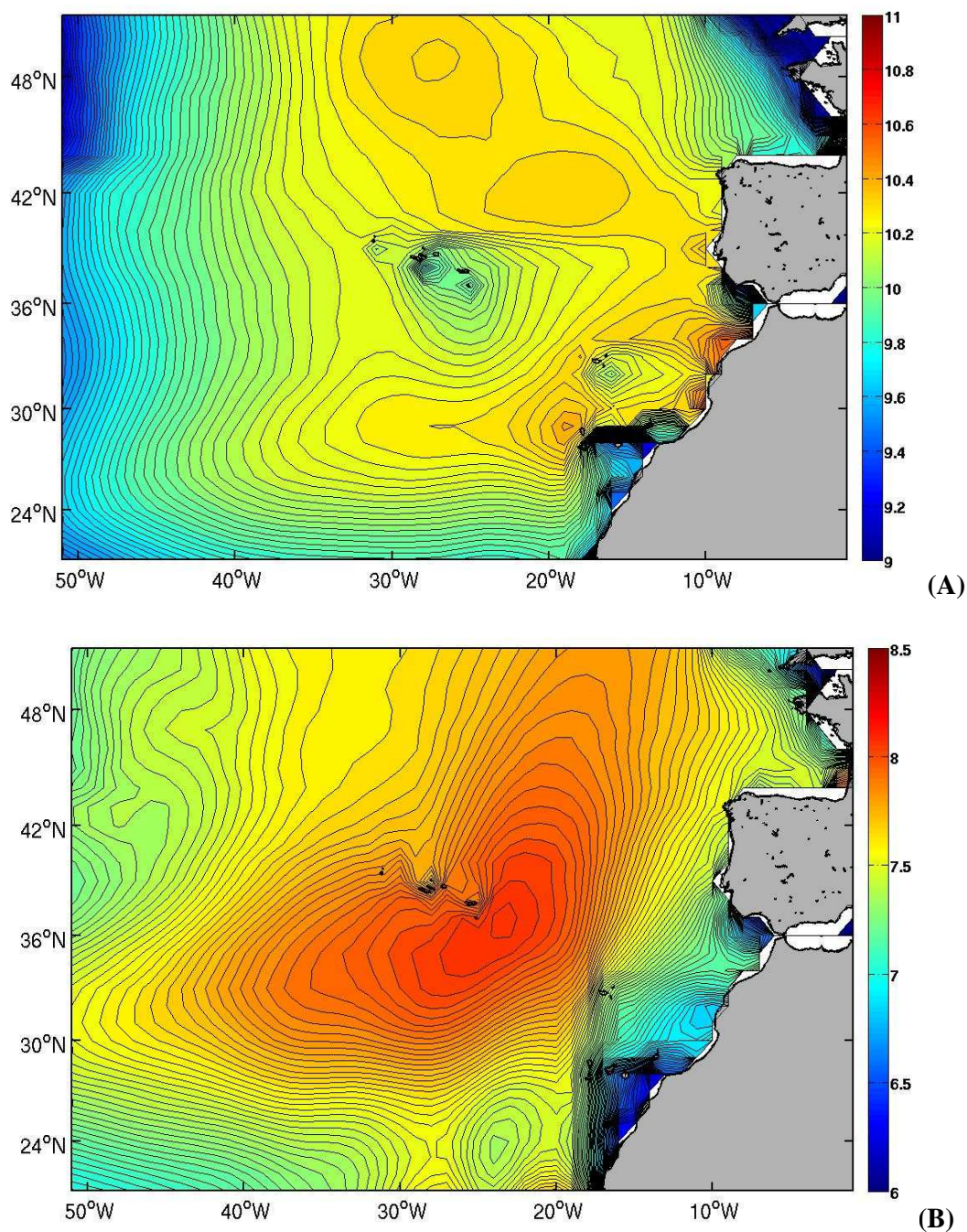


Fig. 65 – T_m médio sazonal (DJF e JJA) na ZEE portuguesa, nos períodos de regime NAO negativo, de 1979 a 2010. Em (A) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de DJF. Em (B) está representado T_m médio (em segundos) para os meses de JJA. A MWD associada aos painéis (A) e (B) desta figura é a mesma dos painéis (A) e (B) da Fig. 64, respetivamente. A cor da escala varia entre os painéis.



Através da Figura 65, que apresenta T_m médio sazonal (DJF e JJA), na zona do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional, nos períodos de regime NAO^- , de 1979 a 2010, pode constatar-se que, em DJF (Figura 65a), os valores deste parâmetro situam-se entre os 9 s e os 10,6 s. Os valores médios de T_m mais elevados encontram-se entre os meridianos $40^\circ W$ e $10^\circ W$ (aproximadamente entre os 10,2 s e os 10,6 s). Por outro lado, verifica-se que do meridiano $40^\circ W$ para Oeste, a SW de França e ao largo das Canárias, os valores médios de T_m são mais baixos (situam-se sensivelmente entre os 9 s e os 10 s). Especificamente para a ZEE nacional, a ZEE de Portugal Continental é a ZEE que apresenta valores médios mais elevados (entre os 10 e os 10,4 s), seguindo-se a ZEE da Madeira (aproximadamente dos 10,1 aos 10,3 s), e em último, os Açores (entre os 10 e os 10,2 s). Na estação de JJA (Figura 65b), comparando com DJF, os valores são consideravelmente mais baixos (entre os 6 s e os 8,3 s, sensivelmente). Os valores mais elevados encontram-se entre os meridianos $40^\circ W$ e $15^\circ W$ (com valores entre os 7,5 e os 8,3 s). Os valores mais baixos encontram-se a NW do continente africano e a S de Portugal Continental (aproximadamente entre os 6 s e os 7 s). No que diz respeito à ZEE nacional, a ZEE dos Açores é a que apresenta valores mais elevados (7,7 a 8,3 s), ficando as ZEE's da Madeira e de Portugal Continental com os valores mais baixos (7 a 7,7 s, e 6 a 7,5 s respetivamente). Conclui-se assim, que, no regime NAO^- , T_m regista valores médios mais elevados nos meses de inverno, e mais baixos nos meses de verão.

Comparando os valores registados nas Figuras 61 a 65, com os resultados obtidos a partir dos dados das boias, pode verificar-se que, na ZEE de Portugal Continental, para os meses de DJF no regime NAO^+ , os valores de H_s obtidos através da reanálise são relativamente parecidos aos obtidos por meio dos dados das boias: os primeiros situam-se no intervalo de 1 a 3,3 m, e os segundos dos 1,18 m (em Faro) aos 3,51 m (em Leixões). No que diz respeito a T_m , os valores médios obtidos através da reanálise são bastante diferentes dos obtidos através dos registos das boias: para os primeiros, de 10,6 s a 11 s, e para os segundos, entre os 5,16 e os 8,57 s. Ainda para a estação de DJF, mas para os períodos de regime NAO^- , os valores de H_s encontrados através da reanálise são semelhantes aos obtidos por meio dos dados das boias, uma vez que os primeiros compreendem o intervalo de 1 a 3,3 m, e os segundos dos 1,77 m (em Faro) aos 2,84 m (em Leixões). Relativamente a T_m , os valores médios obtidos por



meio da reanálise continuam a ser bastante diferentes dos encontrados através dos registos das boias: para os primeiros, de 10 s a 10,4 s, e os segundos registam o intervalo entre os 5,58 e os 7,65 s.

Na estação de JJA, no regime NAO^+ , os valores de H_s obtidos através da reanálise são relativamente semelhantes aos encontrados por meio dos dados das boias: os primeiros situam-se no intervalo de 1 a 1,7 m, e os segundos dos 0,72 m (em Faro) aos 1,42 m (em Leixões). Para o parâmetro T_m , os valores médios obtidos através da reanálise são distintos dos encontrados através dos registos das boias: para os primeiros, de 6 s a 7,5 s, e para os segundos, entre os 4,13 s e os 5,80 s. Continuando na estação de JJA, mas para o regime NAO^- , os valores de H_s encontrados através da reanálise são semelhantes aos obtidos por meio dos dados das boias, uma vez que os primeiros compreendem o intervalo de 1 a 1,7 m, e os segundos dos 0,69 m (em Faro) aos 1,57 m (em Leixões). No que diz respeito ao parâmetro T_m , os valores médios obtidos por meio da reanálise são dispares dos encontrados através dos registos das boias: para os primeiros, de 6 s a 7,5 s, e os segundos registam o intervalo entre os 4,09 s e os 5,68 s.

Estabelecendo uma comparação, nos meses de DJF, entre os valores dos parâmetros para todos os regimes NAO e os valores dos parâmetros no regime NAO^+ , é perceptível que H_s apresenta valores mais elevados especificamente em regime NAO^+ (Figura 62a), do que em todos os regimes (Figura 60a). Já os valores de T_m estão ligeiramente mais concentrados a NW da Península Ibérica em regime NAO^+ (Figura 63a) do que em todos os regimes (Figura 61a). Fazendo esta mesma comparação, mas com os valores dos parâmetros no regime NAO^- , a diferença não é muito notória, percebendo-se apenas uma ligeira tendência para os valores elevados ocorrerem um pouco mais para Sul (Figuras 64a e 65a), relativamente aos valores encontrados para todos os regimes (Figura 60a e 61a). Na estação de JJA, não é muito perceptível a diferença dos valores dos parâmetros separadamente para cada regime NAO para os valores dos parâmetros em todos os regimes. Nota-se apenas que valores elevados dos parâmetros em todos os regimes ocorrem ligeiramente mais a Sul que no regime NAO^+ e ligeiramente mais a Norte que no regime NAO^- , em específico.

Conclui-se que, tanto ao nível da bacia do Atlântico Norte que inclui a ZEE nacional como dentro da própria ZEE, independentemente do regime NAO , os meses de inverno apresentam valores dos parâmetros mais elevados que os meses de verão. Por



outro lado, nos meses de inverno, a diferença entre regimes *NAO* faz-se sentir mais que nos meses de verão, ao nível da sua influência no clima de agitação marítima. Em DJF, os valores de H_s em regime NAO^+ são superiores aos valores de H_s em regime NAO^- , quando a latitude é maior. Portugal Continental e a Madeira têm valores de H_s algo semelhantes nos dois regimes; no entanto nos Açores os valores de H_s são mais elevados no regime NAO^- . Por sua vez, os valores de T_m são ligeiramente maiores em regime NAO^+ que em regime NAO^- . No entanto, em regime NAO^- , os valores mais elevados deste parâmetro encontram-se mais a W e a S que em regime NAO^+ (neste regime há tendência para ficarem mais concentrados a NW da Península Ibérica). Ao nível da ZEE nacional, os valores de T_m são um pouco mais elevados em regime NAO^+ que em regime NAO^- .

Na estação de JJA, não há uma notória diferença entre regimes relativamente aos valores de H_s . Pode-se observar, no entanto, que em regime NAO^- os valores de H_s são mais elevados numa latitude mais baixa. Portugal Continental não apresenta uma clara distinção entre regimes. No entanto, os Açores e a Madeira têm valores de H_s mais elevados no regime NAO^- . No que diz respeito aos valores de T_m não existe igualmente uma clara diferença entre regimes. Pode-se verificar que no regime NAO^- os valores mais elevados estão ligeiramente mais distribuídos por toda a bacia do Atlântico Norte que contempla a ZEE nacional. Dentro da ZEE, mais especificamente nos Açores e Madeira, há uma pequena tendência para os valores de T_m , em regime NAO^- , serem superiores aos do regime NAO^+ .

Como pode ser verificado, a direção média de propagação da agitação marítima não foi estudada do ponto de vista sazonal, separando os regimes NAO^+ e NAO^- . O motivo pelo qual este estudo não foi realizado, funda-se no facto dos resultados obtidos parecerem relativamente iguais (como se pode constatar através das Figuras 62 e 64), quando, no entanto, não o são. À primeira vista, é perceptível que, em ambos os regimes, à medida que a latitude e a longitude vão diminuindo, *MWD* vai ocupando sucessivamente os setores W, WNW, NW, NNW, N, NNE e NE. Efetivamente existem algumas diferenças de *MWD* entre regimes *NAO*, que só uma análise mais aprofundada permitiria tirar conclusões devidamente detalhadas.



6. SUMÁRIO, CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo, SUMÁRIO, CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO, é efetuado o sumário desta dissertação, as conclusões tiradas, bem como referido o possível trabalho futuro a realizar e recomendações no âmbito desta temática.

6.1. Sumário

Portugal, país com uma ampla e remota tradição marítima, tem hoje em dia, variadíssimas razões económicas, políticas, científicas e sociais para considerar o mar como o seu vetor prioritário. Na sequência da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar, foi definida em Portugal uma ZEE com cerca de 1 700 000 km², sendo a maior ZEE da União Europeia, e a terceira maior do continente Europeu. Tal confere ao país especiais responsabilidades sobre grande parte do Atlântico Nordeste. Tendo em conta que só se consegue exercer soberania plena sobre o território que se conhece, assim como só se consegue gerir eficazmente aquilo que se conhece, as ciências ligadas ao mar, pela importância de que se revestem, têm que constituir, ao nível nacional, carácter prioritário.

Para além da importância que esta temática tem no âmbito civil, a sua relevância no âmbito militar também não se pode descurar, uma vez que a variedade de condições climáticas e eventos extremos associados poderá ter um impacto significativo nas operações militares, que inclui um aumento do risco de vida e de lesões, tendo um efeito nocivo na performance do militar, equipamentos, materiais e meios envolvidos nas missões. No caso particular das operações anfíbias, que justificam existência de um militar Fuzileiro e que implicam um contacto direto entre as forças de desembarque e as condições de agitação marítima, saber que condições ambientais vão ser esperadas antes das operações, pode implicar literalmente a diferença entre o sucesso e o fracasso da missão.

Embora ainda não tenha sido conduzida em Portugal nenhuma investigação no âmbito da temática em estudo aplicada à componente militar operacional, no âmbito civil a agitação marítima na ZEE portuguesa tem sido objeto de estudo por parte de vários autores, com enfoque nos seguintes pontos: estabelecimento das condições médias globais, sazonais e extremas de agitação marítima, com base nos dados



adquiridos pelas boias ondógrafo, caracterização o clima de agitação marítima, com recurso a modelos numéricos de propagação e geração de ondas, ou mesmo utilização de modelos de ondas e dados de reanálise para implementação de sistemas de reconstituição e previsão da agitação marítima. No entanto, a ligação entre a agitação marítima na ZEE portuguesa e o forçamento atmosférico carece de um estudo mais detalhado, uma vez que até à data, com a exceção de SEMEDO (2005), que estudou a influência da Oscilação do Atlântico Norte no regime de ondas extremas em Portugal (o qual não foi perseguido com o devido detalhe) mais nenhum autor tinha estabelecido esta mesma ligação.

Assim, a presente dissertação de Mestrado, intitulada “Forçamento atmosférico de larga escala do clima de agitação marítima na Zona Económica Exclusiva portuguesa”, teve como objetivo estudar a relação entre o clima de agitação marítima na ZEE portuguesa e o forçamento atmosférico de larga escala. Numa primeira fase, com recurso aos dados de observações de boias ondógrafo, disponibilizados pelo IH para período de 1990 a 2012, foi efetuada uma primeira análise do clima de agitação marítima, onde se realizou um estudo das ocorrências de diversos tipos de agitação marítima, caracterizada pelos seus valores de altura significativa, período médio, período de pico e direção média de propagação. Numa segunda fase, foi estudada relação entre os diferentes regimes e características da agitação marítima e o respetivo forçamento atmosférico, recorrendo aos dados das boias e a um índice representativo da circulação geral da atmosfera no Atlântico Norte (o índice *NAO*). Na terceira fase, foi estudado o clima de ondas em toda a ZEE Portuguesa, com utilização de dados de reanálise de ondas *ERA-Interim*.



6.2. Conclusões

Através da análise dos resultados obtidos, conclui-se que:

1) Na ZEE de Portugal Continental:

a) Relativamente aos dados das boias ondógrafo:

A correlação entre os valores médios mensais de H_s e T_m e os valores mensais do índice NAO é relativamente baixa (Tabela 4). No entanto, os valores do coeficiente de correlação têm, uma tendência para diminuírem com a diminuição da latitude, passando inclusive para valores negativos, na costa Sul (o que indica uma inversão dos valores, ou seja, uma variável tende a aumentar de valor a outra tende a diminuir). Em períodos de índice NAO^+ o coeficiente de correlação é maior numa latitude mais elevada, pelo que nos períodos de índice NAO^- a costa Sul é a que regista a correlação mais forte (Tabela 5). Por outro lado, em geral, a correlação entre os parâmetros e o índice NAO é mais forte quando o índice NAO é positivo. Ao nível sazonal, a correlação mais forte é registada nos meses de inverno (Tabelas 7 e 8).

Os valores médios mensais de H_s , T_m e T_p diminuem em função da diminuição da latitude. Verifica-se que as médias dos valores no regime NAO^+ são, de um modo geral, superiores às médias dos valores dos parâmetros no regime NAO^- , à medida que a latitude vai aumentando, e por sua vez inferiores, à medida que a latitude vai diminuindo (Figuras 3 a 5; Tabela A1). As médias de H_s , T_m e T_p têm o seu valor máximo nos meses de inverno e o seu valor mínimo nos meses de verão (Figuras 6 a 11; Tabela A1). No caso de MWD , observa-se que há uma tendência para a direção média de proveniência da agitação marítima ocupar setores mais de Norte em regime NAO^+ , e de setores mais de Sul em regime NAO^- . Sazonalmente, encontra-se de setores mais de Norte nos meses de verão, e de setores mais de Sul nos meses de inverno (Figuras 6 a 11; Tabela A1).

Os valores extremos de H_s , T_m e T_p são mais altos à medida que a latitude vai aumentando (Figuras 3 a 5). Por outro lado, à medida que a latitude vai sendo cada vez



menor, a ocorrência de valores extremos vai deixando de estar associada a regimes NAO^+ , passando a estar associada a regimes NAO^- . Os meses de inverno são os meses do ano em que se registam os valores mais elevados, e os meses de verão são, por sua vez, os meses do ano em que se registam os valores mais baixos. Verifica-se igualmente uma ligeira tendência para, no inverno, os valores extremos estarem associados a regimes NAO^+ , e no verão a regimes NAO^- (Figuras 6 a 11).

A variabilidade anual de H_s e T_m diminui, de um modo geral, com a diminuição de latitude (Tabela 9; Figuras 12 a 14). A variabilidade sazonal de H_s e T_m também decresce, de um modo geral, com a diminuição da latitude. A variabilidade dos parâmetros é maior nos meses de inverno, e menor nos meses de verão (Figuras 15 a 20). Os meses de outono e inverno apresentam maiores variabilidades do que os meses de primavera e verão (Tabelas 10 e 11).

A frequência de ocorrência de valores elevados dos parâmetros H_s e T_m é tanto maior quanto maior for a latitude (Figuras 21 a 32). Verifica-se, também, que, no geral, os valores de H_s e T_m são ligeiramente superiores no regime NAO^+ relativamente aos do regime NAO^- . Em DJF, H_s e T_m têm valores mais elevados no regime NAO^+ , e mais baixos no regime NAO^- (Figuras 33 a 44). Na estação de JJA, os valores de H_s e T_m são mais elevados nos períodos de regime NAO^- , e mais baixos nos períodos de regime NAO^+ (Figuras 45 a 56).

No caso do parâmetro MWD , verifica-se que à medida que a latitude vai sendo cada vez mais baixa, passa de setores mais a N para setores mais a S. Constata-se igualmente que a direção média de proveniência da agitação marítima encontra-se de setores mais de N no regime NAO^+ e de setores mais de S no regime NAO^- (Figuras 21 a 32). Em DJF tem-se a direção média de proveniência da agitação marítima mais de N no regime NAO^+ , e mais de S no regime NAO^- (Figuras 33 a 44). Em JJA, a direção média de proveniência da agitação marítima, no regime NAO^+ apresenta-se de setores mais de N, e no regime NAO^- , dos setores mais de S (Figuras 45 a 56).



b) Relativamente aos dados da reanálise

Os valores médios anuais de H_s não apresentam uma clara diferença entre regimes NAO . Para T_m , observa-se que, no geral, os seus valores são mais elevados nos períodos de regime NAO^+ . No que diz respeito ao parâmetro MWD , não são perceptíveis diferenças de setores entre os dois regimes (NW para os dois regimes; Figuras 57 a 59). Por outro lado, verifica-se que os meses de inverno são o período do ano em que se observam valores médios de H_s e T_m mais elevados (Figuras 60a e 61a). Por outro lado, os meses de Verão (JJA) são o período do ano em que se registam valores médios de H_s e T_m mais baixos (Figuras 60b e 61b).

2) Na ZEE do Arquipélago dos Açores:

Os resultados obtidos a partir dos dados de reanálise permitem verificar que os valores médios anuais de H_s são os mais elevados da ZEE nacional, tanto no regime NAO^+ como no regime NAO^- . Pelo contrário, de um modo geral, os valores médios anuais de T_m registados nesta ZEE são os mais baixos (Figuras 57 a 59). Não obstante, apresenta valores médios anuais e sazonais dos parâmetros ligeiramente mais elevados no regime NAO^- , comparativamente ao regime NAO^+ (Figuras 58 e 59; Figuras 61 a 65). Independentemente do regime NAO , a agitação marítima é predominante de WNW nos meses de inverno e de NW nos meses de verão.

3) Na ZEE do Arquipélago da Madeira:

Os resultados obtidos a partir dos dados de reanálise permitem observar que os valores médios dos parâmetros são os valores, no geral, mais baixos registados (Figura 57). À semelhança da ZEE do Arquipélago dos Açores, também apresenta valores médios anuais e sazonais dos parâmetros ligeiramente mais elevados no regime NAO^- , comparativamente ao regime NAO^+ (Figuras 58, 59, 62, 63, 64 e 65). Independentemente do regime NAO , a agitação marítima é predominante de NNW nos meses de inverno, e de todos os setores nos meses de verão.



4) A partir dos dados das boias e da reanálise, verifica-se que, na bacia do Atlântico Norte onde está incluída a ZEE portuguesa, a *NAO* exerce mais influência no clima de agitação marítima nos meses de inverno do que nos meses de verão. Por outro lado, no inverno, os valores dos parâmetros são em média superiores em períodos de regime *NAO*⁺, e inferiores em regime *NAO*⁻. Nos meses de verão, a influência da *NAO* não é tão perceptível. Não obstante, existe uma ligeira tendência para os valores dos parâmetros, serem superiores nos períodos de regime *NAO*⁻, e inferiores nos períodos de regime *NAO*⁺.

5) Através dos resultados obtidos a partir dos dados da reanálise, pode afirmar-se que a agitação marítima na ZEE portuguesa tem uma geração muito distante com direção NW-SE, ocorrendo numa latitude mais elevada nos períodos de regime *NAO*⁺, e numa latitude mais baixa nos períodos de regime *NAO*⁻.

6) Através da comparação dos dados das boias com os dados de reanálise, constatou-se que os valores dos parâmetros nem sempre coincidiam entre as duas fontes de dados, especialmente os valores de T_m . Pode concluir-se que os resultados obtidos a partir dos dados da reanálise *ERA-Interim* não são tão detalhados como os obtidos a partir dos dados das boias ondógrafo, atendendo à área que cobrem. Efetivamente, os produtos da reanálise são uma mais valia quando se pretende efetuar um estudo climatológico que cubra uma grande área, durante um longo período de tempo. Caso contrário, se se pretender realizar uma investigação dentro de uma zona específica e num período de tempo mais reduzido, com vista à obtenção de resultados muito pormenorizados, será mais viável a utilização dos dados obtidos através das boias.



6.3. Trabalho futuro e recomendações

Esta dissertação poderá constituir o ponto de partida para o estudo, quer anual quer sazonal, dos dados de reanálise na ZEE portuguesa através da separação entre “vaga” e “ondulação”, e a projeção do clima de ondas futuro na ZEE Portuguesa. Será igualmente interessante o estudo do clima de ondas na ZEE portuguesa com recurso aos dados da reanálise *ERA-40* ou de outras reanálises, a fim dos resultados poderem ser comparados com os resultados aqui obtidos a partir dos dados da reanálise *ERA-Interim*. Por fim, o estudo do clima da agitação marítima nas ZEE’s do Arquipélago dos Açores e da Madeira, à semelhança da ZEE de Portugal Continental, poderá igualmente ser realizado com recurso aos dados das boias ondógrafo existentes nessas ZEE’s, fazendo depois a inter-ligação com os dados dos produtos da reanálise para as mesmas zonas.

Não menos importante, recomenda-se a criação de um curso de Meteorologia e Oceanografia (METOC) aplicado às operações anfíbias (resultante de um possível acordo entre instituições civis e militares especializadas na área), no âmbito do *Rapid Environmental Assessment* (REA), dos sistemas de informação METOC e da influência da METOC Costeira nas operações militares. Desta forma seriam formados Oficiais Fuzileiros com valências nestas áreas, aptos a desempenhar funções de oficial METOC no Corpo de Fuzileiros e, conseqüentemente, caso necessário, constituir o *staff* do Estado-maior de uma “Força-tarefa” nacional ou multinacional (em inglês, *Task Force*, é o nome atribuído, pela *U.S. Navy* desde 1941, a uma unidade militar temporária, criada para realizar uma operação ou missão específica), à semelhança do que já é uma realidade nas forças armadas de outras nações, como por exemplo a *U.S. Navy*. Desta forma o Corpo de Fuzileiros ficaria mais enriquecido e auto-suficiente no que respeita a previsões METOC.





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Este capítulo contém uma lista das referências bibliográficas utilizadas como base teórico-prática da realização desta dissertação.

ABADIE, S., BUTEL, R., MAURIET, S., MORICHON, D. e DUPIUS, H. (2006). *Wave climate and longshore drift on the South Aquitaine coast.*, Cont. Shelf Res, v.26, p. 1924–1939.

ALVES, J. H. G. M. (2006). *Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave Climate. Ocean Modelling.* Vol. 11 (1-2), p. 98-122.

ANDREW, Colin J. F.; MULHEARN, P.J. (2000). *Sources of Data and Expertise for Environmental - Factors Relevant to Amphibious Operations.* Maritime Operations Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, p.1

ARDHUIN, F.; CHAPRON, B.; COLLARD, F. (2009). *Observation of swell dissipation across ocean.* Geophysical Research Letters. 36(6): L06607.

BAPTISTA, Rui; CHUMBINHO, Rogério; PACHECO, Miguel; LOPES, Ana; TEIXEIRA, Joana (2002). *Agitação Marítima - Produtos de um SIG em desenvolvimento no Instituto Hidrográfico*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, p.1

BARBER, N. F.; URSELL, F. (1948). *The generation and propagation of ocean waves and swell – I: Wave periods and velocities.* Philos. Trans. Roy. Soc. London, 240A, p.527–560.

BASTOS, A.; TRIGO, R. M.; BARBOSA, S. M. (2013). *Discrete wavelet analysis of the influence of the North Atlantic Oscillation on Baltic Sea level.* Tellus - Series A, Dynamic Meteorology And Oceanography, International Meteorological Institute, Stockholm.



- BAUER, E.; STOLLEY, M.; STORCH, H. von (1997). *On the response of surface waves to accelerating the wind forcing*. GKSS Manuscript 96/E/89, 24 pp.
- BAUER, E. (2001). *Interannual changes of the ocean wave variability in the North Atlantic and in the North Sea*. Climate Research, Vol. 18: 63–69.
- BENTO, A. Rute; SILVA, Dina; RUSU, Liliana; SOARES, C. Guedes (2010). *Avaliação da agitação marítima para os portos de Faro e Setúbal*. 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa.
- BIDLOT, J-R.; HOLMES, D.; WITTMANN, P.; LALBEHARRY; R.; CHEN, H.; (2002). *Intercomparison of the Performance of Operational Ocean Wave Forecasting Systems with Buoy Data*. WEATHER AND FORECASTING, Vol.17, 287-310
- BIDLOT J-R, JANSSEN P, ABDALLA S. (2007). *Impact of the revised formulation for ocean wave dissipation on the ECMWF operational wave model*. Tech. Memo. 509, ECMWF: Reading, UK.
- BORGES, Maria de Fátima; CABRAL, Henrique; ANDRADE, Francisco (2009). *Ecossistemas e Bem-Estar Humano em Portugal - Capítulo 13: Oceano*, p.437-441.
- CAIRES, S J. R. BIDLOT, N. GRAHAM, V. SWAIL (2004). *Intercomparison of different wind wave reanalyses*. J. Climate, 17, 1893–1913.
- CAMÕES, Maria Filomena; SEGUNDO, Marcela (2011). *Folhas de Ouro da Química*. Oceanografia Química, Química 121, p.65-68
- CAÑELLAS, Bartomeu; ORFILA, Alejandro; MÉNDEZ, Fernando, ÁLVAREZ, Alberto; TINTORÉ, Joaquín (2010). *Influence of the NAO on the northwestern Mediterranean wave climate*. Scientia Marina 74(1), Barcelona (Spain), 55-64.



CNUDM (1982). *Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar*. Art. 76°, Montego Bay

COSTA, Mariana; ESTEVES, Rita ([s.d.]). *Clima de Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal Continental*. Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.

COSTA, Mariana; SILVA, Raquel; VITORINO, João ([s.d.]). *Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.

COURTIER P, ANDERSSON E, HECKLEY W, PAILLEUX J, VASILJEVIC D, HAMRUD M, HOLLINGSWORTH A, RABIER F, FISHER M. (1998). *The ECMWF implementation of three-dimensional variational assimilation (3DVar). I: Formulation*. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 124, p. 1783–1807.

DANGENDORF, Sönke; WAHL, Thomas; HEIN, Hartmut; JENSEN, Jürgen; MAI, Stephan; MUDERSBACH, Christoph (2012). *Mean Sea Level Variability and Influence of the North Atlantic Oscillation on Long-Term Trends in the German Bight*. *Journal Water* 2012, 4, 170-195.

DEAN, Robert G.; DALRYMPLE, Robert A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Singapore: World Scientific, Advanced series on ocean engineering ; v.2.

DEE, D., UPPALA, S. (2008). *Variational bias correction in ERA-Interim*. ECMWF Tech. Rep. Memorandum.

DEE, D., UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., BERRISFORD, P., POLI, P., KOBAYASHI, S., ANDRAE, U., BALMASEDA, M. A., BALSAMO, G., BAUER, P., BECHTOLD, P., BELJAARS, A. C. M., VAN DE BERG, L., BIDLOT, J., BORMANN, N., DELSOL, C., DRAGANI, R., FUENTES, M., GEER, A. J., HAIMBERGER, L., HEALY, S. B., HERSBACH, H., HÓLM, E. V., ISAKSEN, L., KÅLLBERG, P., KÖHLER, M., MATRICARDI, M.,



- MCNALLY, A. P., MONGE-SANZ, B. M., MORCLETTE, J.-J., PARK, B. K., PEUBEY, C., DE ROSNAY, P., TAVOLATO, C., THÉPAUT, J.-N.; VITART, F. (2011). *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137, 553-597.
- DIAS, João M. Alveirinho (2003). *Portugal e o mar – Importância da Oceanografia para Portugal*, p.3-4
- ESTEVES, R.; SILVA, F. Sansana; PINTO, J. P.; COSTA, M. (2010). *Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental*. 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, Instituto Hidrográfico, p.3-4
- FARIA, Catarina dos Santos Gomes (2009). *Previsão Da Agitação Marítima Na Costa Noroeste Portuguesa - Implementação Do Modelo Swan*, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre Em Engenharia Civil Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p.1-12, 40
- FARIA, Cláudia; CHAGAS, Isabel; PEREIRA, Gonçalo (2010). *D. Carlos De Bragança, Um Rei Que Se Tornou Pioneiro Da Oceanografia Em Portugal*. Recursos para o ensino das ciências, Revista da Educação, Vol. XVII, nº 1 , p.83 – 95
- HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K.; BAUER, E.; JANSSEN, P. A. E. M.; KOMEN, G. J.; BERTOLLI, L.; LIONELLO, P.; GUILLAUME, A.; CARDONE, V. C.; GREENWOOD, J. A.; REISTAD, M.; ZAMBERSKY, L.; EWING, J. A. (1988). *The WAM model — A third-generation ocean wave prediction model*. The WAMDI Group , J. Phys. Oceanogr., 18, pp. 1775–1810.
- HEMER, Mark A.; FAN, Yalin; MORI, Nobuhito; SEMEDO, Álvaro; WANG, Xiaolan (2012). *Projected future changes in wind-wave climate in a multi-model ensemble*. Supplementary Material for Manuscript submitted to Nature Climate Change, Centre for Australian Weather and Climate Research, p.2



- HOGBEN, N. (1995). *Increases in wave heights over the North Atlantic: A review of the evidence and some implications for the naval architect*. Trans. Roy. Inst. Nav. Archit., 137A, p.93–115.
- HÖGSTRÖM, U., SMEDMAN, A., SAHLEÉ, E., DRENNAN, W., KAHMA, K. (2009). *The atmospheric boundary layer during swell – a field study and interpretation of the turbulent kinetic energy budget for high wave ages*. J. Atmos. Sci., 66, 2764–2779.
- HORAN, R; LAVELLE, M. (2005). *Introduction to waves - Basic Physics*, p.3
- HURRELL, J. W. (1995b). *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation*. Science, 269, p.676– 679.
- HURRELL, J.W. (1996) *Influence of variations in extratropical winterteleconnections on Northern Hemisphere temperature*. Geophys Res Lett 23:665-668
- HURRELL, J.W., KUSHNIR, Y., OTTERSEN, G.; VISBECK, M. (2003). *An overview of the North Atlantic Oscillation*. Geophysical Monograph 134.
- IM, Instituto de Meteorologia (2004). *Caracterização climática da costa - Clima de agitação marítima*, Instituto de Meteorologia, Portela, p.1-7
- JANSSEN, Peter (2004). *The interaction of ocean waves and wind*. Cambridge, UK.
- KOMEN, G. J.; CAVALERI, L.; DONELAND, M.; HASSELMANN, K., HASSELMANN, S.; JANSSEN, P. A. E. M. (1994): *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- LAJOIE, Mark R. (2006). *The Impacts Of Climate Variations On Military Operations In The Horn Of Africa*, Naval Postgraduate School, Monterey, California, p.16-17-24-25.



- MASSEL, Stanislaw R. (1996). *Ocean surface waves: their physics and prediction*. World Scientific, Singapore.
- MELO, Eloi; ROMEU, Marco A. R.; HAMMES, Guilherme R. (2010). *Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do modelo WW3*. 4º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Laboratório de Engenharia Costeira, Escola de Engenharia, Rio Grande, RS, p.1.
- MILES, J. W., (1957). *On the generation of surface waves by shear flows*. J. Fluid Mech., v. 22. p. 185-204.
- MUNK, W. H. (1947). *Tracking storms by forerunners of swell*, J. Meteorol., 4(2), pp. 45–57.
- MURALEEDHARAN, G. (1991). *Studies On Wave Climate Along The South West Coast Of India*. Thesis Submitted To The Cochin University Of Science And Technology For The Degree Of Doctor Of Philosophy In Oceanography, M. Sc., Physical Oceanography And Meteorology Division, School Of Marine Sciences, Cochin University Of Science And Technology, p.1-3,
- OCHI, M. (2008). *Ocean Waves: The Stochastic Approach*. Cambridge University Press.
- OLIVEIRA, Eugénio (2007). *Metodologias de Investigação Científica*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- PEREIRA, Ana Isabel dos Santos (2008). *Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras*, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Arquitectura Naval, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, p.15-19, 39-55
- PHILLIPS, O. M. (1957). *On the generation of wave by turbulence wind*. J. Fluid Mech., v. 2, p. 417-445.



- PIERSON, W. J.; NEUMANN, G.; JAMES, R.W. (1953). *Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics*. U.S. Navt Hydrographic Office Pub., No. 603.
- PIERSON, Willard J., Jr.; MOSKOWITZ, Lionel A. (1964). *Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii*, Journal of Geophysical Research, Vol. 69, p.5181-5190.
- RODWELL, M.J., ROWELL, D.P., FOLLAND, C.K. (1999). *Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate*. Nature 398: 320–323.
- ROGERS, J.C. (1984). *The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere*. Mon Wea Rev 112:1999-2015.
- RUSU, L.; BERNARDINO, PILAR, M. P.; SOARES, C. Guedes (2010). *Previsão da agitação marítima em situações de temporal à entrada do estuário do Tejo*. 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa.
- SEMEDO, Álvaro (s.d.). *Modeling Air-Sea Momentum Exchanging Processes InSwell Dominated Wave Fields*. Report Series A, Meteorology, Department of earth Sciences, Uppsala Universitet, p.iii, 1-2, 11.
- SEMEDO, Álvaro (2005). *The North Atlantic Oscillation Influence On The Wave Regime In Portugal: An Extreme Wave Event Analysis*. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Of Science In Meteorology and Master Of Science In Physical Oceanography, Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA.



- SEMEDO, Álvaro; SUŠELJ, Kay; RUTGERSSON, Anna (2009). *Variability of Wind Sea and Swell Waves in the North Atlantic Based on ERA-40 Re-analysis*. Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden, p.120-121.
- SEMEDO, Álvaro (2010). *Atmosphere-ocean Interactions in Swell Dominated Wave Fields*. Acta Universitatis Upsaliensis, Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 764, Uppsala, Sweden, 53 pp.
- SEMEDO, Álvaro; SUŠELJ, Kay; RUTGERSSON, Anna; STERLA, Andreas (2011). *Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40*. Journal of Climate, American Meteorological Society.
- SEMEDO, Álvaro; WEISSE, R.; BEHERENS, A.; STERL, A.; BENGTSSON, L.; GUNTHER, H. (2012). *Projection of global wave climate change towards the end of the 21st century*. Submitted to J. Climate.
- SMITH, S. D. (1992). *Sea surface wind stress and drag coefficients: The HEXOS results*. Bound. Layer Meteor., 60, 109–142.
- SMEDMAN, A.; HÖGSTRÖM, U.; BERGSTRÖM, H.; RUTGERSSON, A.; KAHMA, K. K.; PETTERSEON, H. (1999). *A case study of air-sea interaction during swell conditions*. J. Geophys. Res., 104, p. 25833–25851.
- SMEDMAN, A., HÖGSTRÖM, U.; SAHLEÉ, E.; DRENNAN, W. M.; KAHMA, K. K.; PETTERSSON, H.; ZHANG, F. (2009). *Observational study of Marine Atmospheric Boundary Layer characteristics during Swell: a field study of the governing mechanism*. J. Atmos. Sci., 66, p.2747–2763; 2764–2779.
- SNODGRASS, F. E.; GROVES, G. W.; HASSELMANN, K.; MILLER, G. R.; MUNK, W. H.; POWERS, W. H. (1966). *Propagation of ocean swell across the Pacific*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A249, p.431–497.



- SORENSEN, Robert M. (1997). *Basic coastal engineering*. 2nd ed. - New York: Chapman & Hall, New York.
- STERL, A. (2004). *Notes and correspondence on the (in)homogeneity of reanalysis products*. Journal of climate, Vol. 17, 3866-3873.
- STERL, A., & CAIRES, S. (2005). *Climatology, variability and extrema of ocean waves: The Web-based KNMI/ERA-40 wave atlas*. Int. J. Climatol., 25, 963-997.
- STEWART, R. H. (2008). *Introduction To Physical Oceanography*. Department of Oceanography – Texas A & M University, USA.
- SULLIVAN, P. P.; EDSON, J. B.; HRISTOV, T.; MCWILLIAMS, J. C. (2008). *Large-eddy Simulations and Observations of Atmospheric Marine Boundary Layers above Nonequilibrium Surface Waves*. J. Atmos. Sci., 65, 1225-1254.
- SVERDRUP, H.U.; MUNK, W.H. (1947). *Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting*. Publication 601, Hydrographic Office, U.S. Navy, 50 pp.
- TRIGO, R.M.; CORTE-REAL, J.M; OSBORN, T.J. (2004). *Influencia de la Oscilación Del Atlántico Norte en el clima Del continente Europeo y su impacto en el caudal de los rios Ibéricos*. In GIMENO L., GARCÍA-HERRERA R., TRIGO R.M., TORRE L. (Edts). *La Oscillación Del Atlántico Norte y sus efectos sobre la Península Ibérica y Canárias*. Editorial AICA.
- UPPALA, S. M. & COAUTHORS (2005). *The ERA-40 Re-Analysis*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 2961-3012.
- WALKER, G. T. (1924). *Correlations in seasonal variations of weather*. IX Mem. Ind. Meteorol. Dept., 24, p. 275-332.
- WALKER, G. T.; BLISS, E. W. (1932). *World Weather*. V Mem. Roy. Meteorol. Soc., 4, p. 53-84.



- WAMDI Group (1998). *The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model*. Journal of Physical Oceanography, vol. 18, p. 1775-1810.
- WANNER, H., BRÖNNIMANN, S., CASTY, C., GYALISTRAS, D., LUTERBACHER, J., SCHMUTZ, C., STEPHENSON, D.B. and XOPLAKI, E. (2001). *North Atlantic Oscillation – Concepts and studies*. Surveys in Geophysics 22, p. 321–382.
- WEATHERLY, J. W.; HILL, D. R. (2004). *OS-02: The Impact Of Climate And Extreme Weather Events On Military Operations*. U.S. Army Engineering Research and Development Center, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, p.1-2.
- WMO (1998). *Guide to wave analysis and forecasting*. No. 702. 2nd ed., Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva.
- WOOLF, D. K.; CHALLENGOR, P. G.; COTTON, P. D. (2002a). *Variability and predictability of the North Atlantic wave climate*. Journal Of Geophysical Research, VOL. 107, p.2-3.
- WOOLF, D. K.; COTTON, P. D.; CHALLENGOR, P. G. (2002b). *Measurements of the offshore wave climate around the British Isles by satellite altimeter*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 361, p. 27-31.
- WOOLF, D.; TSIMPLIS, M. (2003) *The influence of the North Atlantic Oscillation on sea level in the Mediterranean and the Black Sea derived from satellite altimetry*. In, YILMAZ, A. (ed.) *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: similarities and differences of two interconnected basins*. 2nd International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea, Ankara, Turkey, 14-18 October 2002. Tubitak Publishers, p. 145 150.



YAN, Zhongwei; TSIMPLIS, Michael; WOOLF, David (2004). *Analysis Of The Relationship Between The North Atlantic Oscillation And Sea-Level Changes In Northwest Europe*. Int. J.Climatol. 24: 743–758.

SITES NA INTERNET

Forumdefesa.com, pesquisado em Maio de 2013.

NOAA, *Climate Prediction Center, National Weather Service*, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>., pesquisado em Janeiro de 2013.

WMO (2006). *Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF)*. User's Guide, New Attachment II-8 to the *Manual on the GDPFS* (WMO-No. 485), Volume I, <http://www.bom.gov.au/wmo/lrfvs/users.shtml#levs>, pesquisado em Maio de 2013.



ANEXO A

Este anexo, ANEXO A, contém os resultados obtidos a partir dos dados das boias ondógrafo, relativos a MAM e SON, tal como referido no capítulo 5, ANÁLISE DOS RESULTADOS, do corpo da dissertação.

A.1. Séries temporais dos parâmetros das boias em função do índice *NAO*

As figuras A1 a A3 e A4 a A6 representam, respetivamente, as séries temporais das médias sazonais, correspondentes a MAM e SON, de H_s , T_m , T_p , e MWD , para as boias de Leixões, Sines e Faro. Nestas Figuras é igualmente representado o percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), a média dos parâmetros e a média do parâmetros para os regimes NAO^+ e NAO^- . A Tabela A1 apresenta os valores das médias acima referidas.



BÓIA	MÉDIAS	GERAL				INVERNO				PRIMAVERA				VERÃO				OUTONO			
		Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°)
LEIXÕES	MÉDIA GERAL	2,30	6,93	11,13	304	3,18	8,12	13,14	300	2,19	6,83	11,15	302	1,51	5,73	9,01	308	2,36	7,13	11,35	304
	MÉDIA PARA REGIME NAO +	2,33	7,15	11,42	307	3,51	8,57	13,59	304	2,13	6,92	11,45	307	1,42	5,80	8,97	310	2,15	7,14	11,47	306
	MÉDIA PARA REGIME NAO -	2,27	6,75	10,86	301	2,84	7,65	12,68	295	2,24	6,76	10,93	298	1,57	5,68	9,05	307	2,58	7,13	11,22	302
SINES	MÉDIA GERAL	1,80	6,53	10,93	299	2,42	7,77	12,79	295	1,78	6,43	10,98	297	1,21	5,27	8,86	303	1,79	6,70	11,13	300
	MÉDIA PARA REGIME NAO +	1,73	6,63	11,07	299	2,27	7,98	12,92	294	1,71	6,43	11,07	297	1,18	5,28	8,90	303	1,73	6,74	11,27	300
	MÉDIA PARA REGIME NAO -	1,86	6,43	10,78	299	2,60	7,51	12,64	295	1,85	6,43	10,91	297	1,24	5,26	8,83	304	1,85	6,66	10,99	299
FARO	MÉDIA GERAL	1,07	4,72	8,09	226	1,47	5,37	9,73	226	1,13	4,77	8,15	225	0,71	4,11	6,39	226	0,97	4,67	8,17	224
	MÉDIA PARA REGIME NAO +	0,97	4,64	7,90	227	1,18	5,16	9,57	227	1,08	4,69	7,86	218	0,72	4,13	6,19	235	0,88	4,57	7,97	223
	MÉDIA PARA REGIME NAO -	1,18	4,81	8,29	224	1,77	5,58	9,88	227	1,18	4,85	8,42	232	0,69	4,09	6,59	220	1,08	4,77	8,40	227

Tabela A1 - Tabela dos valores médios anuais e sazonais dos parâmetros, gerais, para índice NAO positivo e para índice NAO negativo

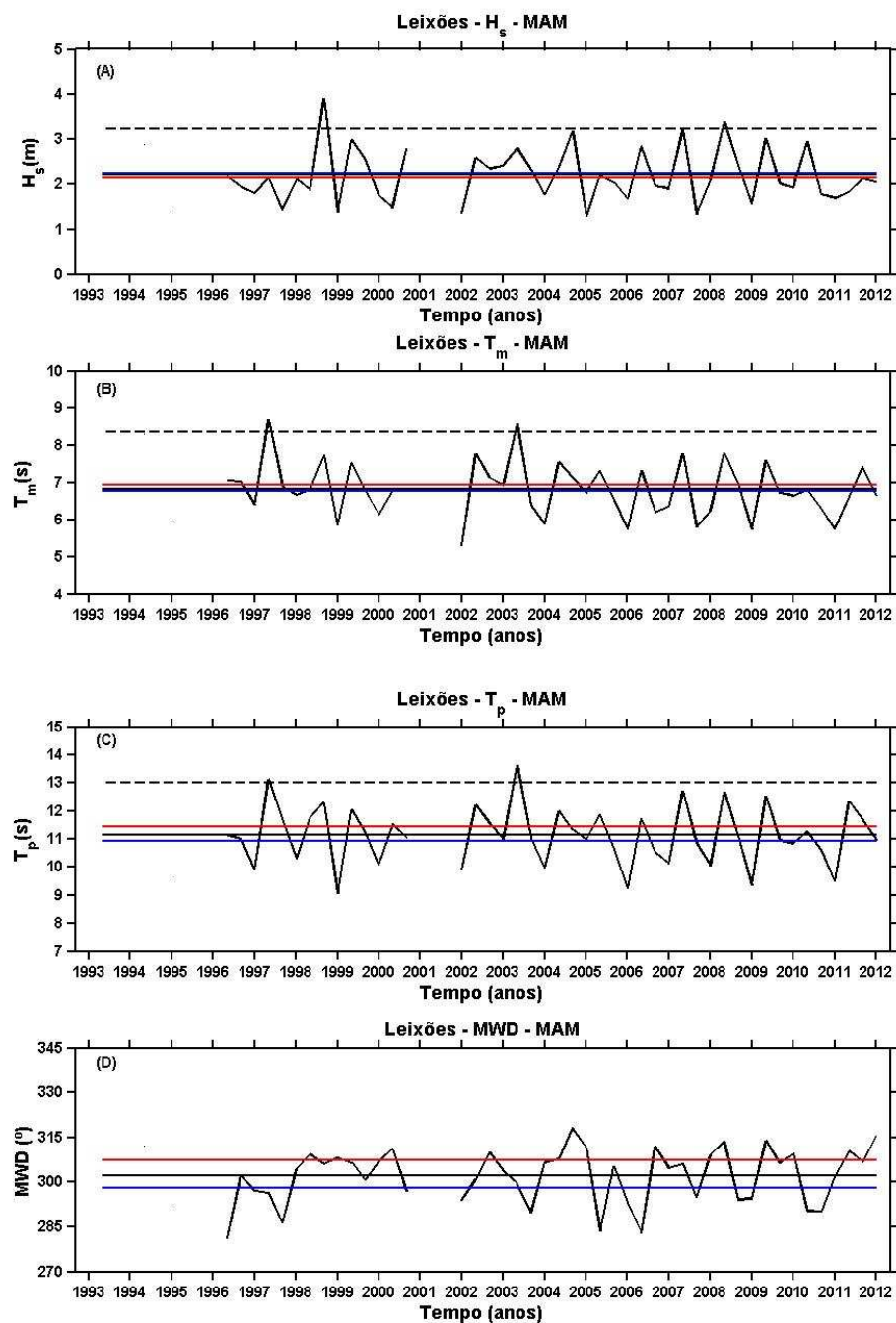


Fig. A1 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^\circ$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

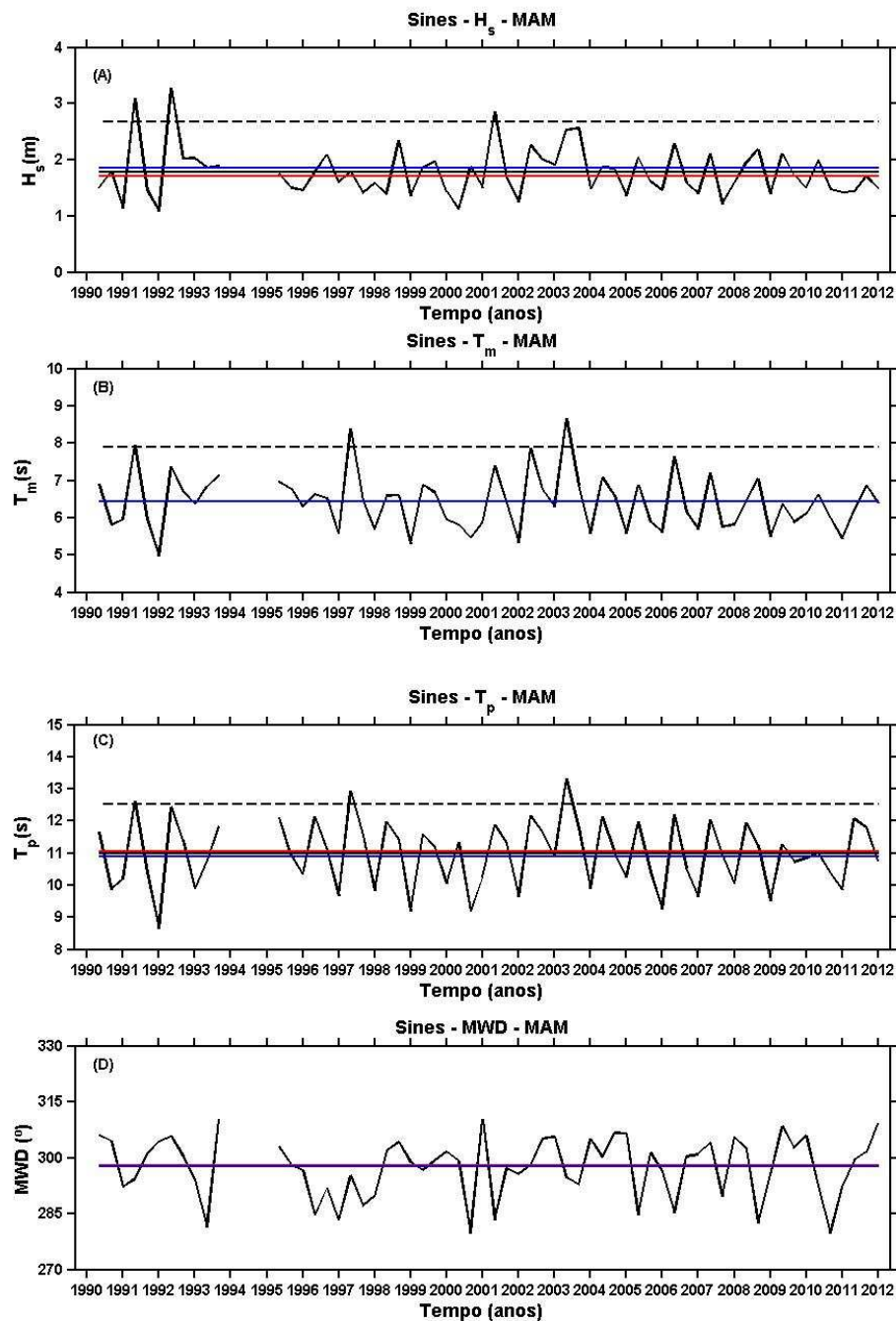


Fig. A2 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^\circ$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

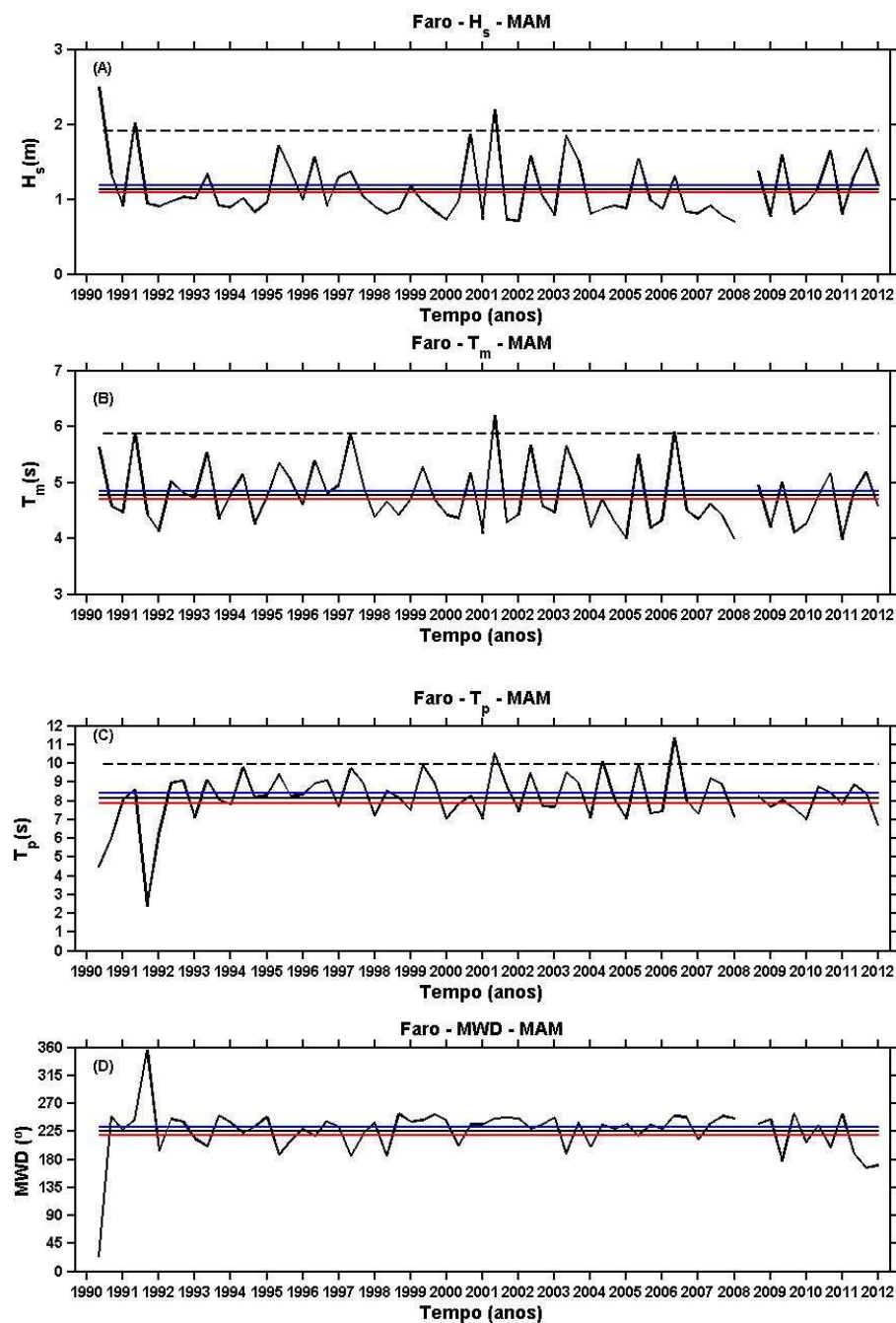


Fig. A3 – Séries temporais de médias sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

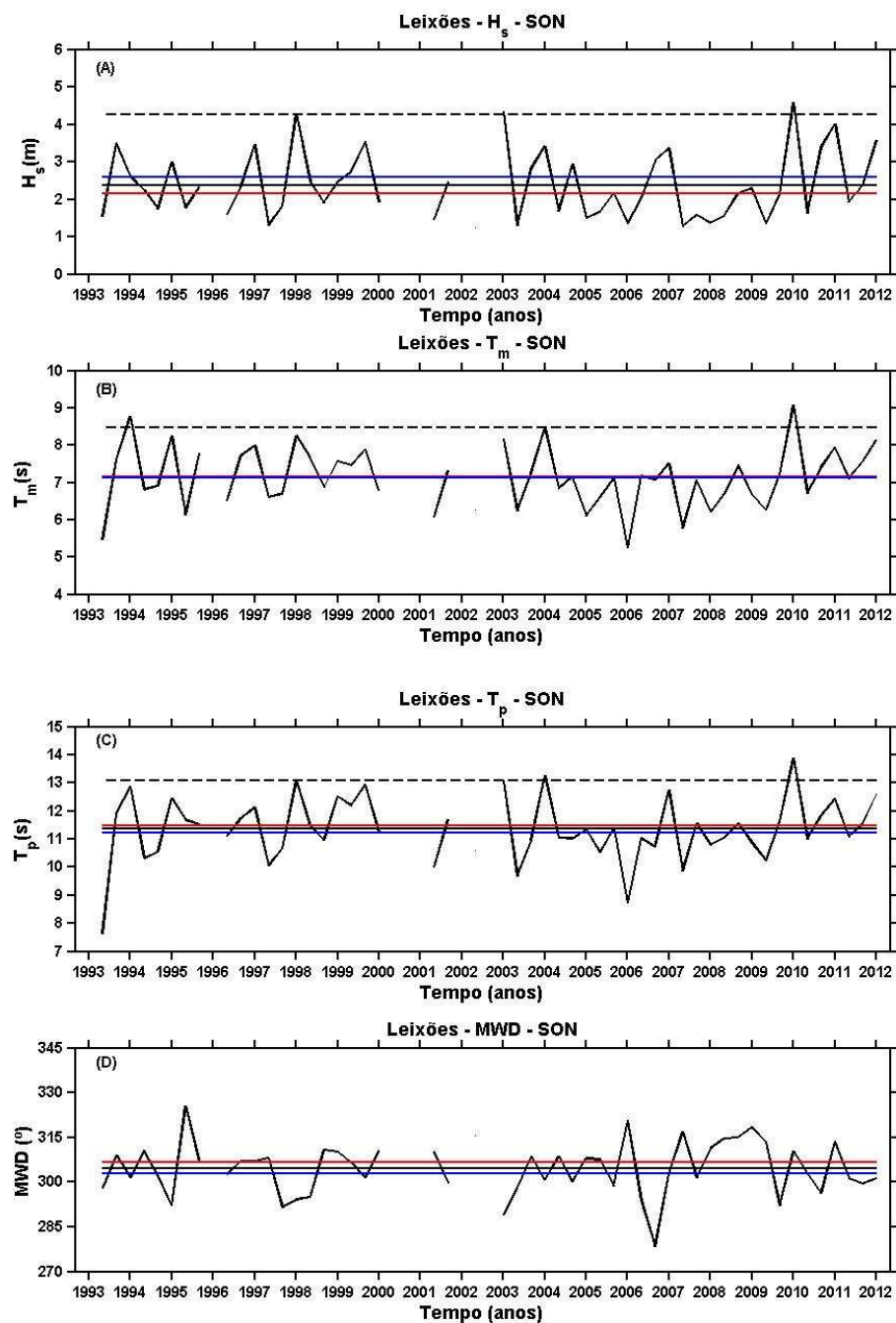


Fig. A4 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^{\circ}$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Leixões. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

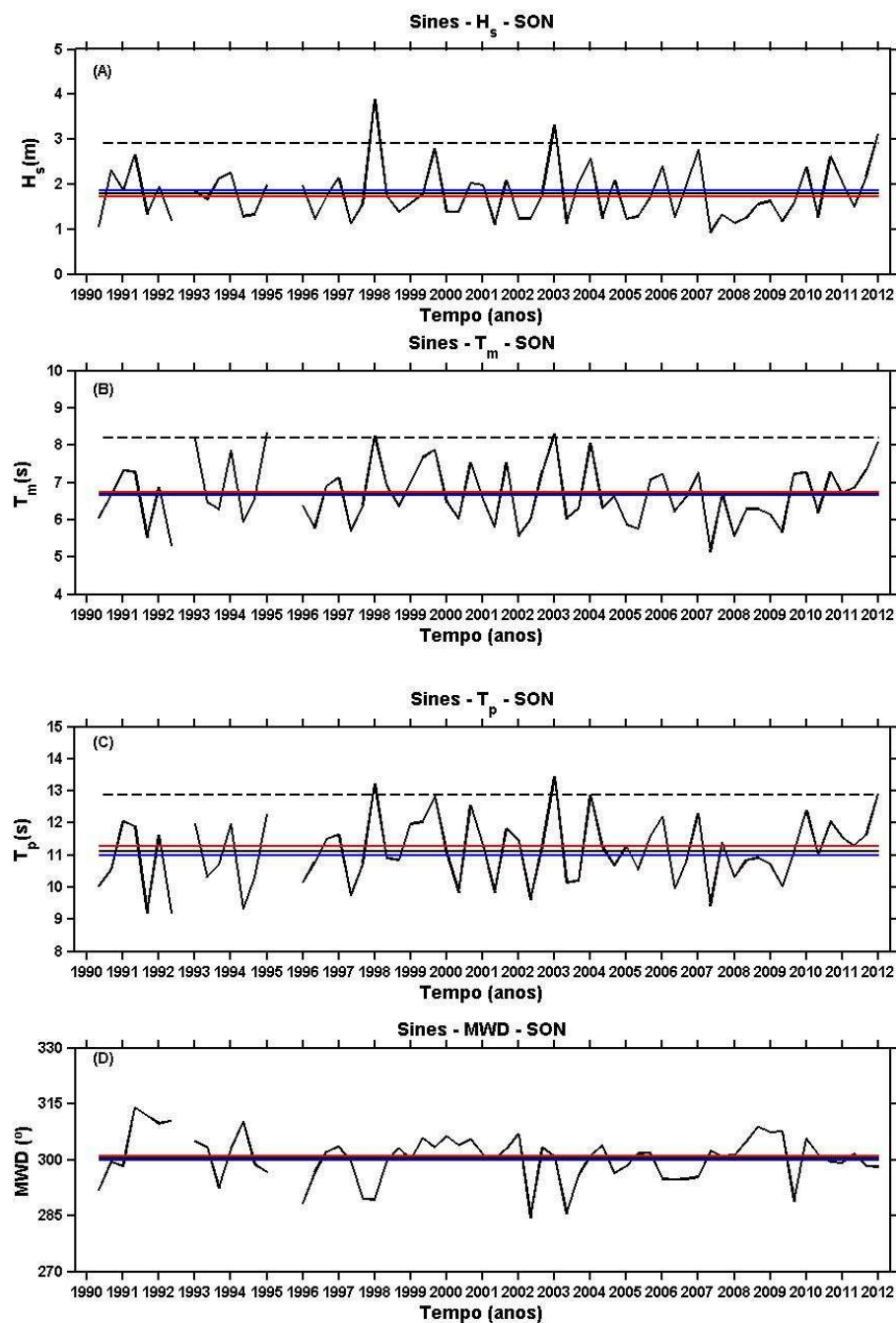


Fig. A5 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD (°; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Sines. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .

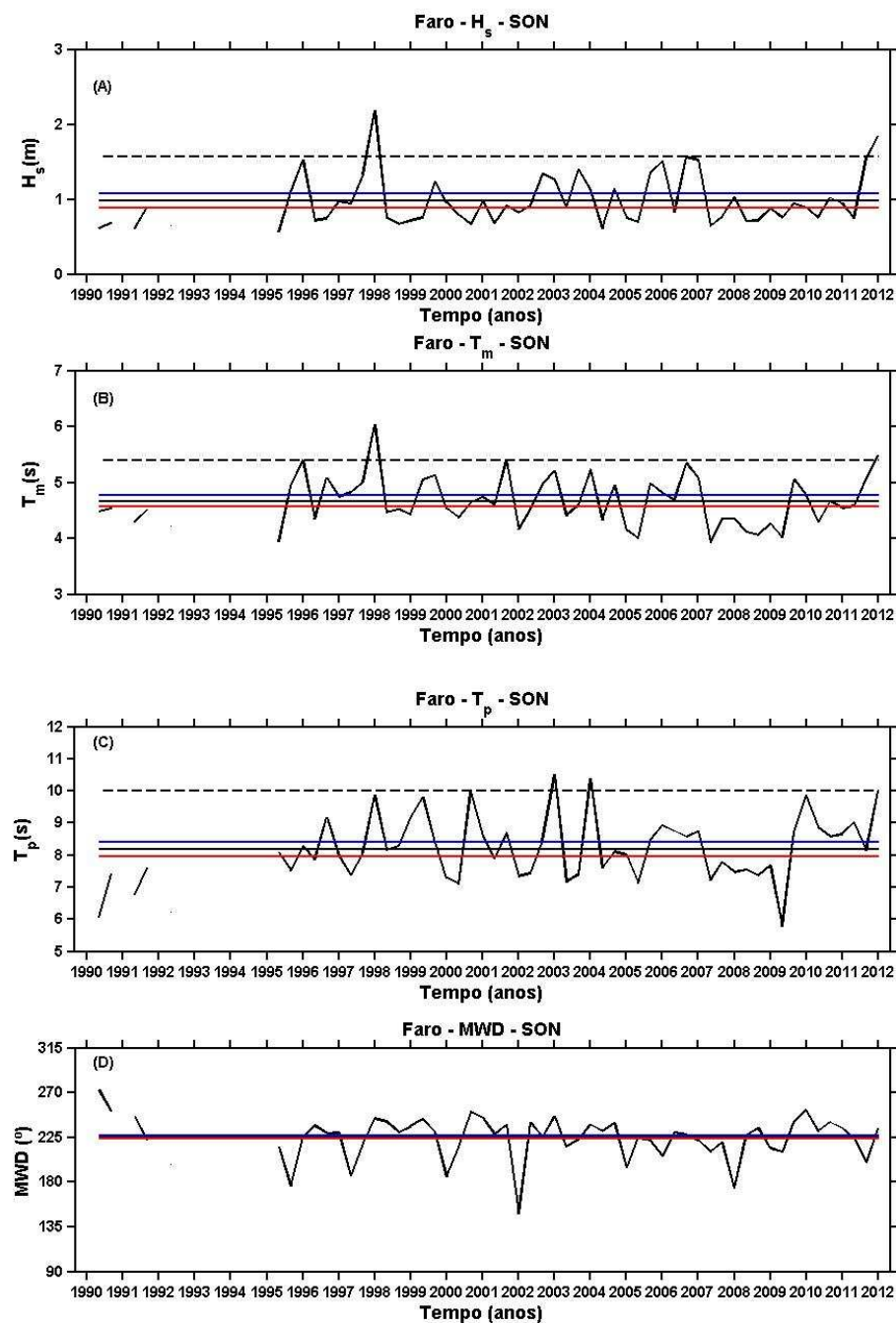


Fig. A6 – Séries temporais de médias sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B), T_p (s; C), e MWD ($^\circ$; D) com linhas pretas a cheio, para a boia de Faro. Linhas horizontais: linha a tracejado preto percentil 95 (só para H_s , T_m , e T_p), linha a vermelho cheia média para o regime NAO^+ , linha a preto cheia média do parâmetro, e linha a azul cheia média para o regime NAO^- .



A.2. Variabilidade os parâmetros H_s e T_m

As figuras A7 a A9 e A10 a A12 representam, em MAM e SON, respetivamente, a variabilidade de H_s e T_m , para as boia de Leixões, Sines e Faro. A tabela 11, do corpo da dissertação, contém os valores médios do desvio padrão das figuras.

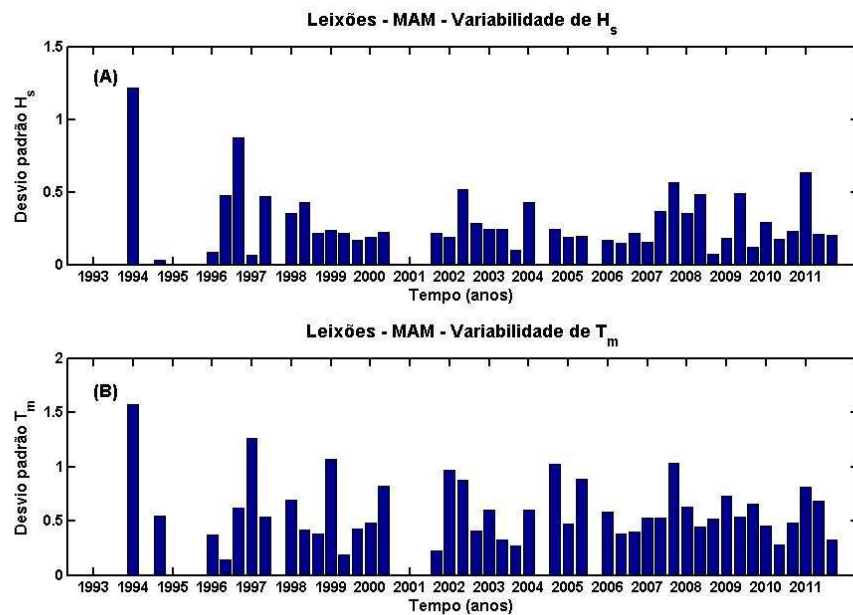


Fig. A7 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM.

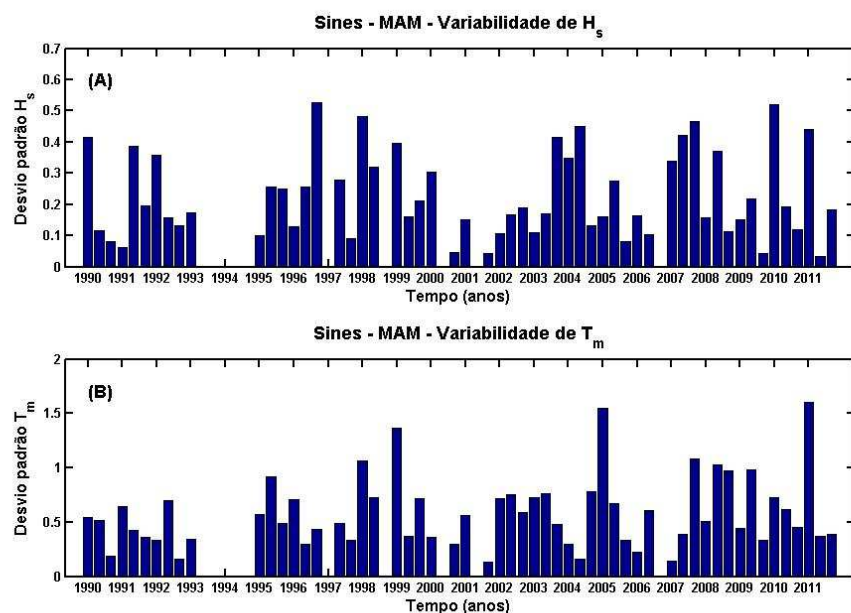


Fig. A8 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM.

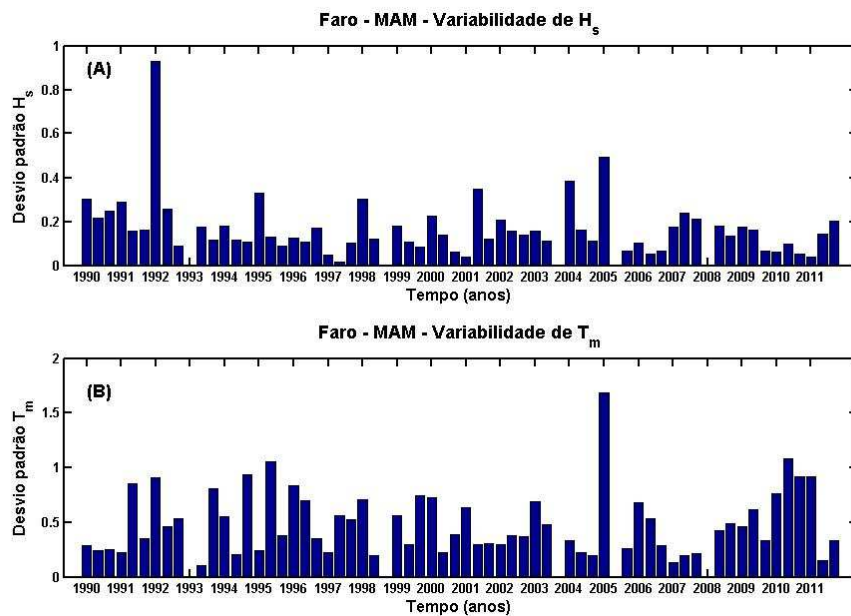


Fig. A9 – Série temporal (para MAM de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para MAM.

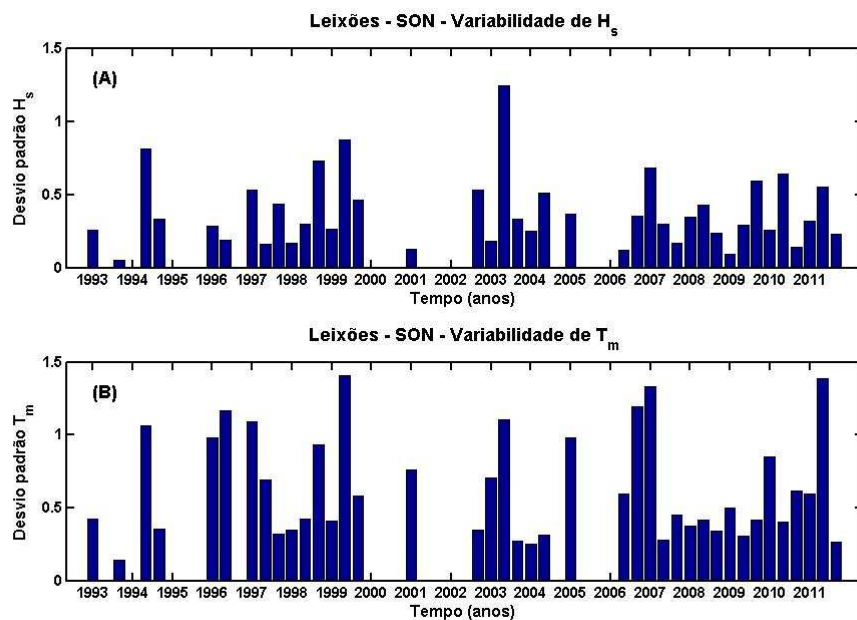


Fig. A10 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Leixões. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.

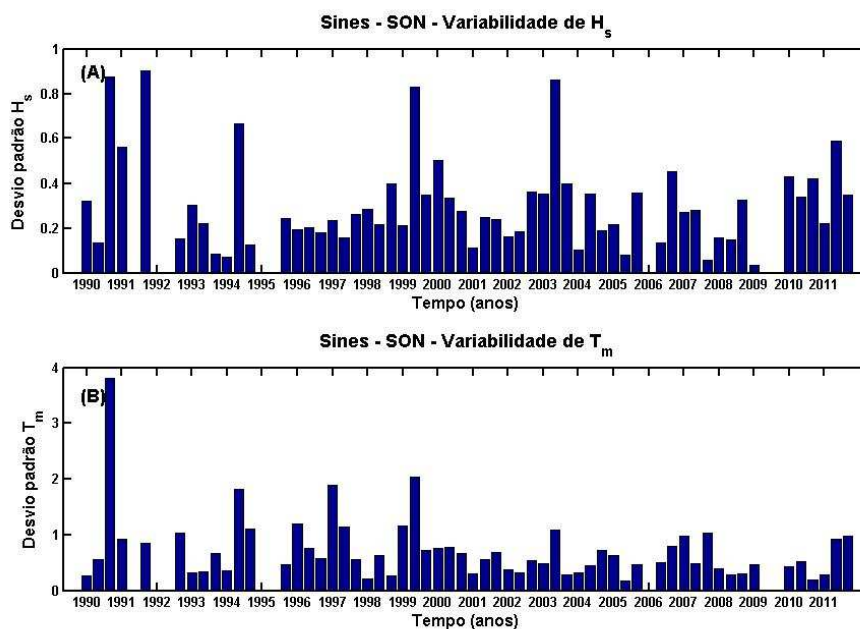


Fig. A11 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Sines. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.

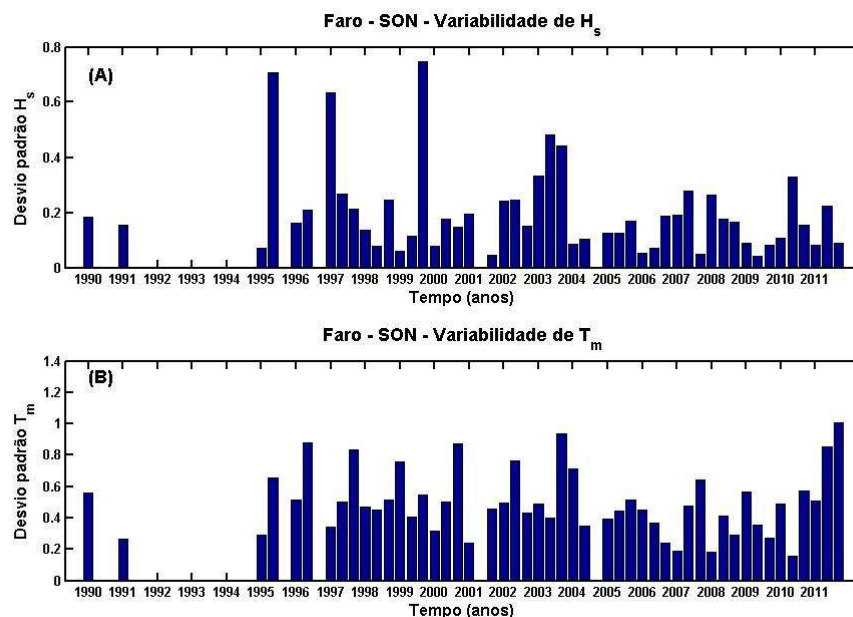


Fig. A12 – Série temporal (para SON de cada ano) da variabilidade de H_s (m; A) e T_m (s; B), para a boia de Faro. Barras azuis: desvio padrão do parâmetro para SON.

A.3. Estudo das frequências de ocorrência de H_s , T_m e MWD em função do índice NAO

As Figuras A13 a A21 e A25 a A33 apresentam histogramas de frequências relativas sazonais (MAM e SON, respetivamente) de H_s , de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , de T_m , de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- , e histogramas angulares de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- , para as boias de Leixões, Sines e Faro.

As Figuras A22 a A24 e A34 a A36 apresentam as funções densidade de probabilidade sazonais (MAM e SON, respetivamente), relativas às boias de Leixões, Sines e Faro, de H_s , de H_s nos regimes NAO^+ e NAO^- , de T_m , de T_m nos regimes NAO^+ e NAO^- e histogramas angulares de MWD , e de MWD nos regimes NAO^+ e NAO^- .

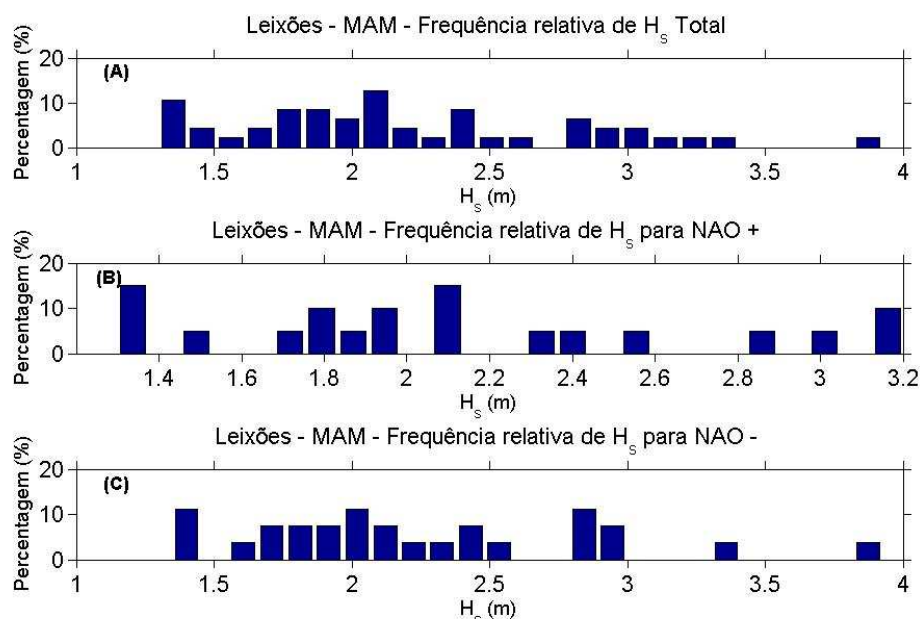


Fig. A13 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

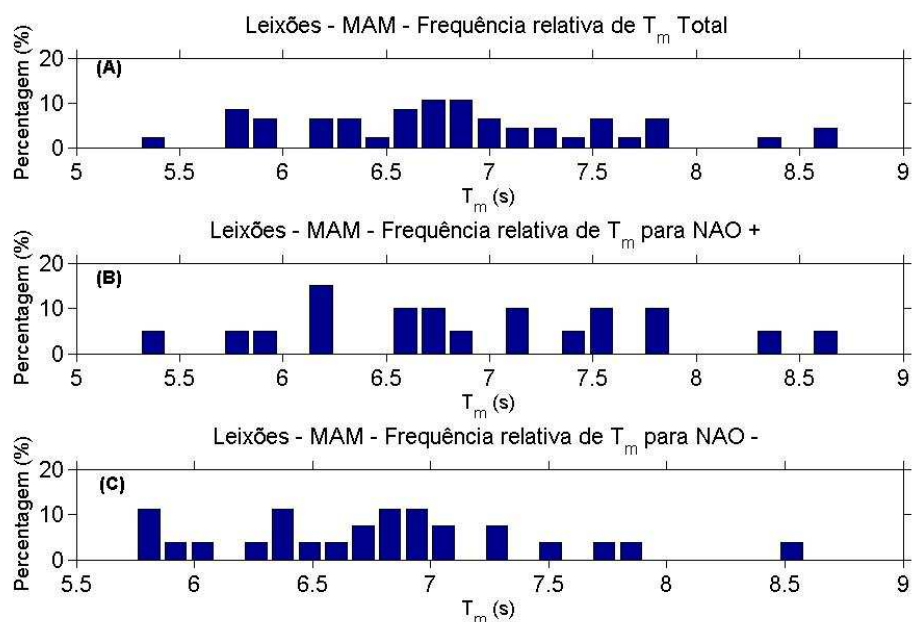
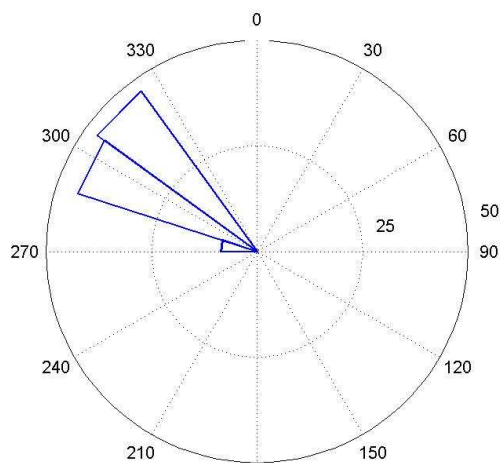
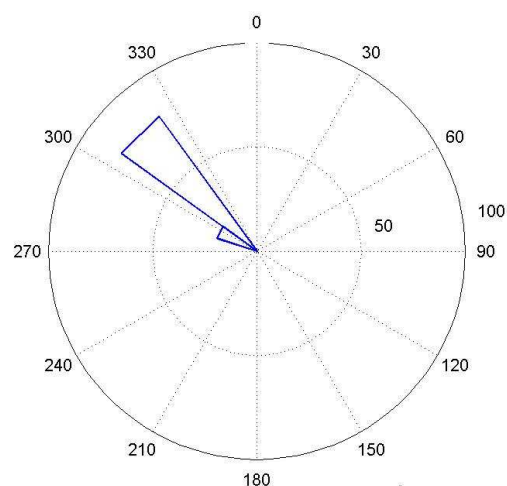


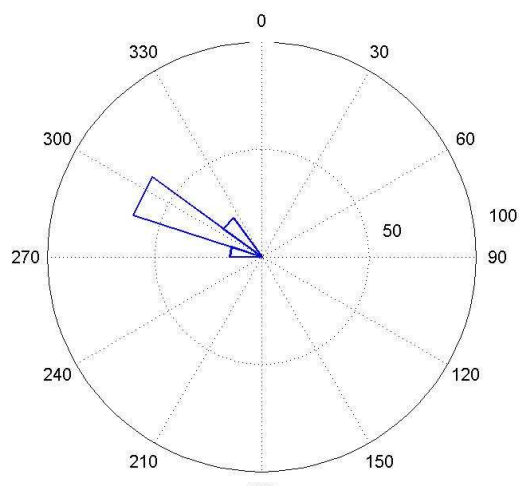
Fig. A14 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.



(A) Leixões - MAM - Histograma da Direção Média (°) total



(B) Leixões - MAM - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Leixões - MAM - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. A15 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

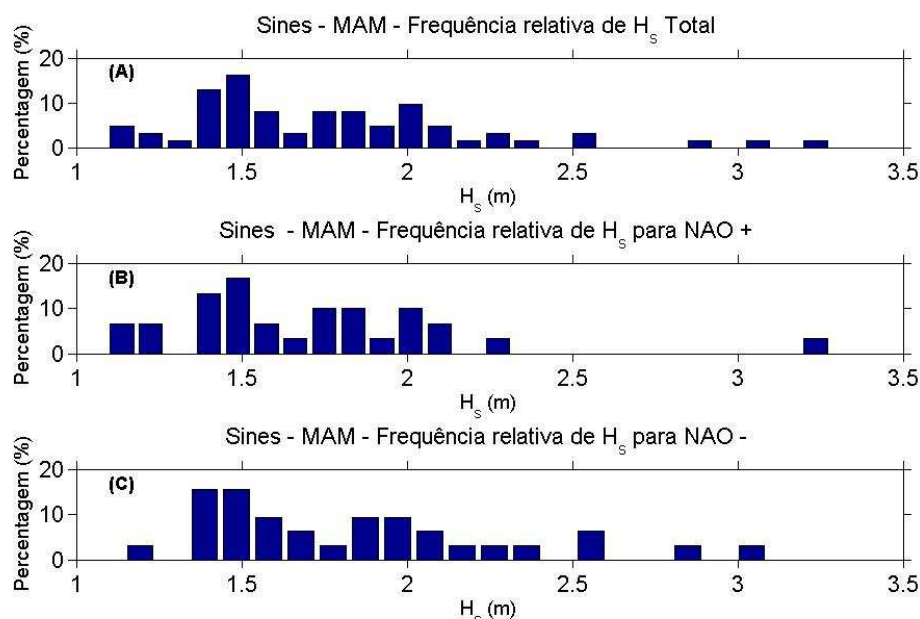


Fig. A16 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

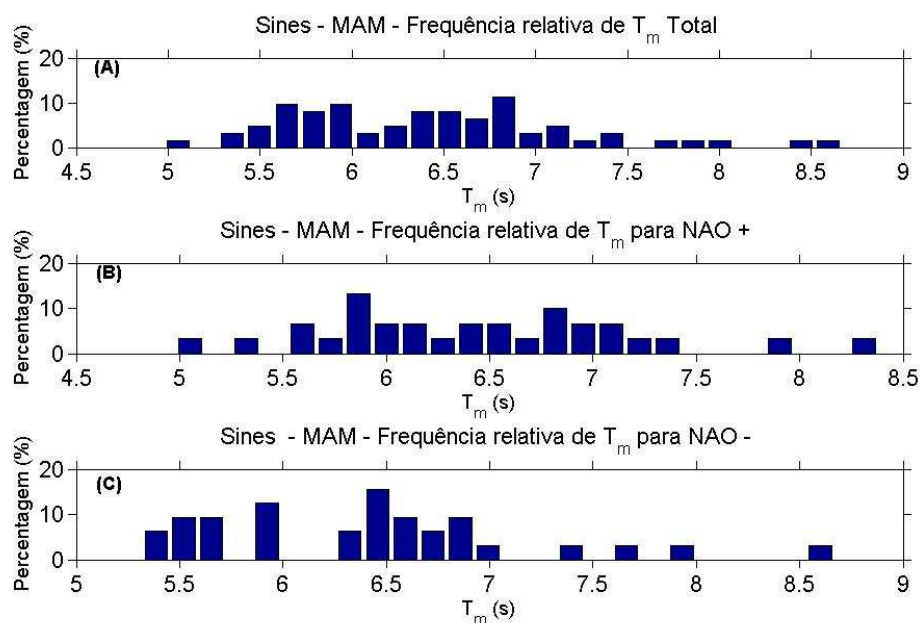
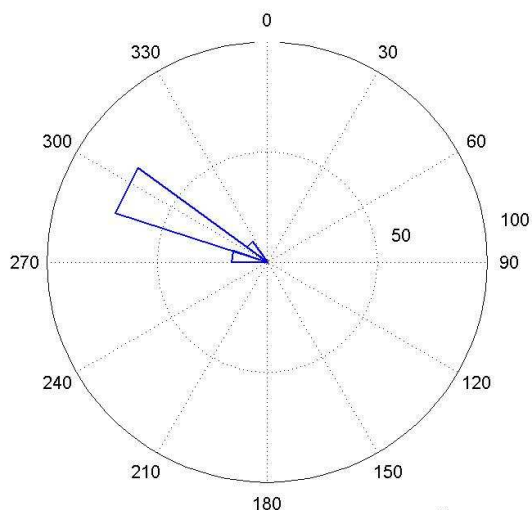
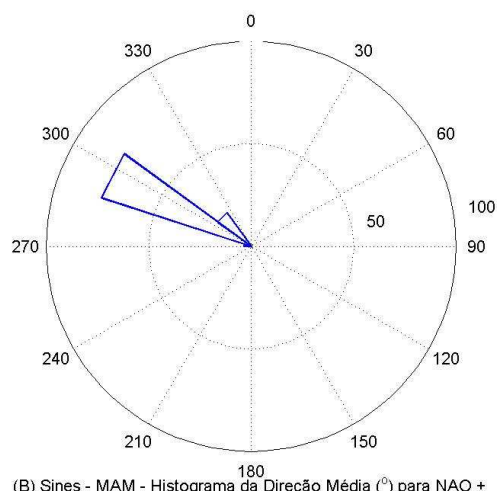


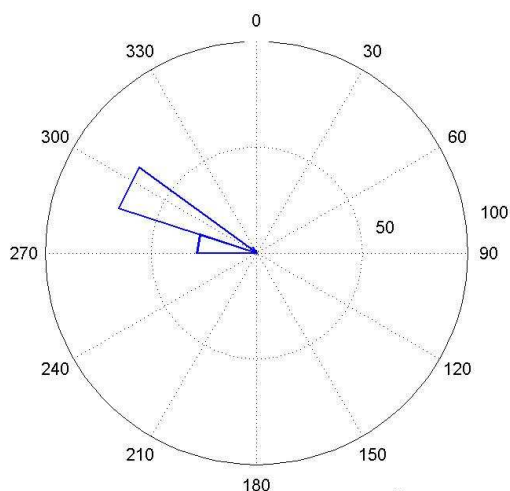
Fig. A17 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.



(A) Sines - MAM - Histograma da Direção Média (°)total



(B) Sines - MAM - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Sines - MAM - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. A18 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

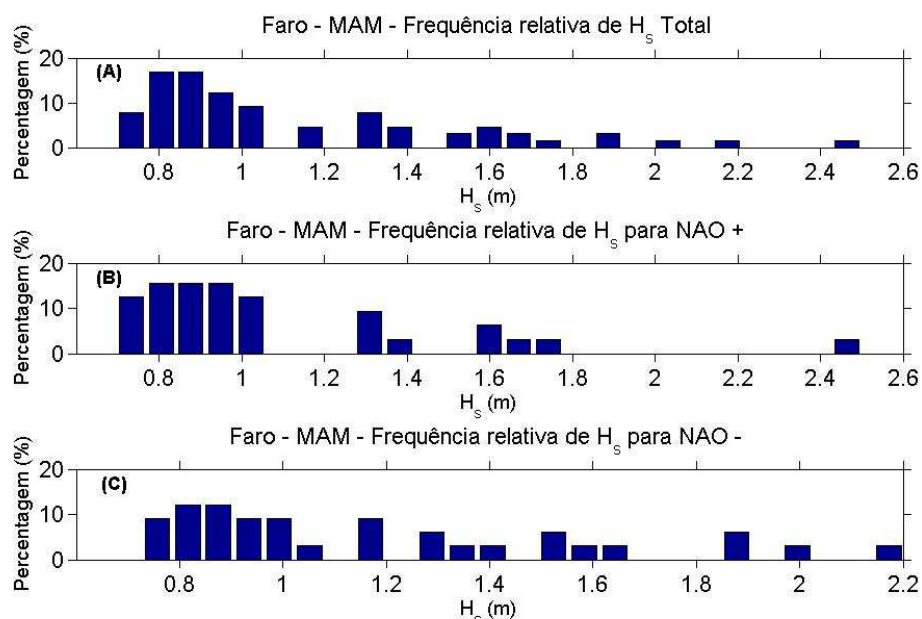


Fig. A19 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

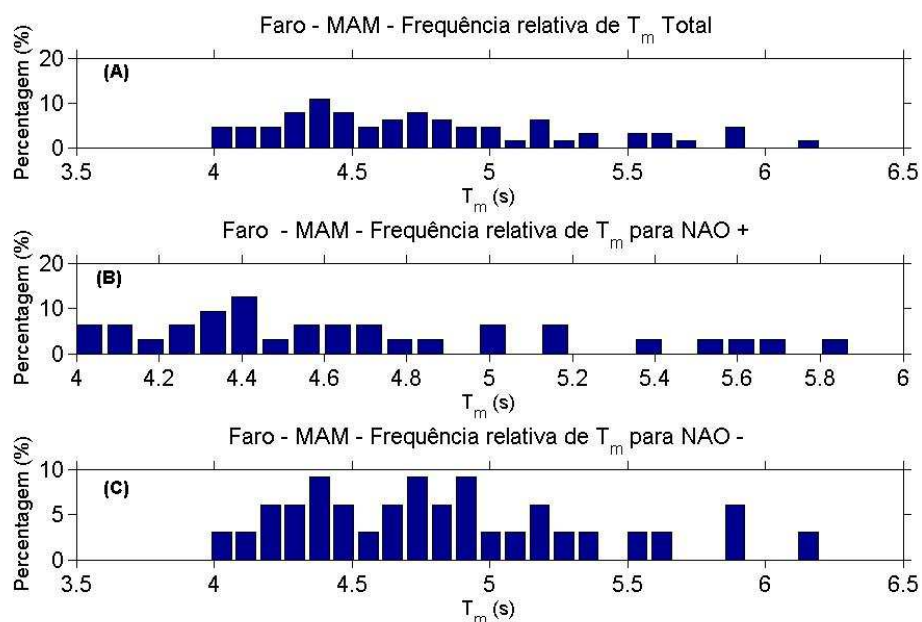
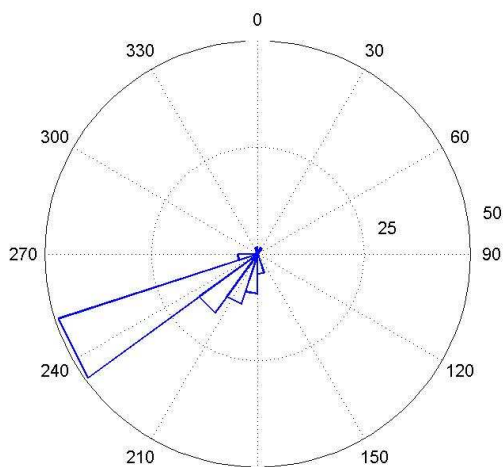
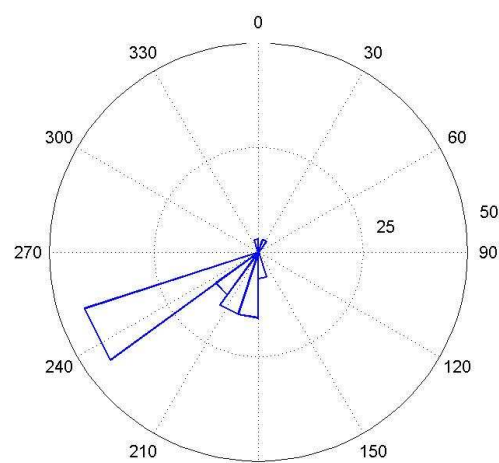


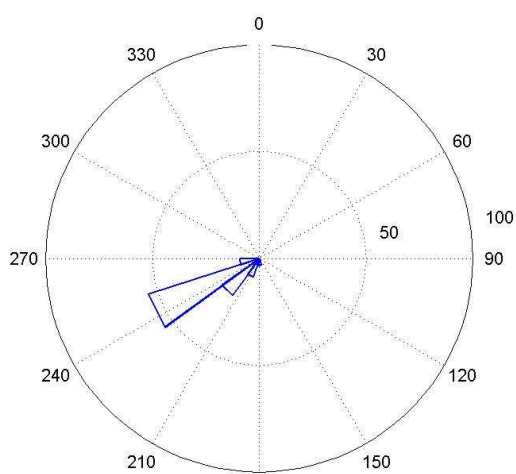
Fig. A20 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.



(A) Faro - MAM - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) total



(B) Faro - MAM - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO +



(C) Faro - MAM - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO -

Fig. A21 – Histogramas de frequências relativas sazonais (MAM) de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

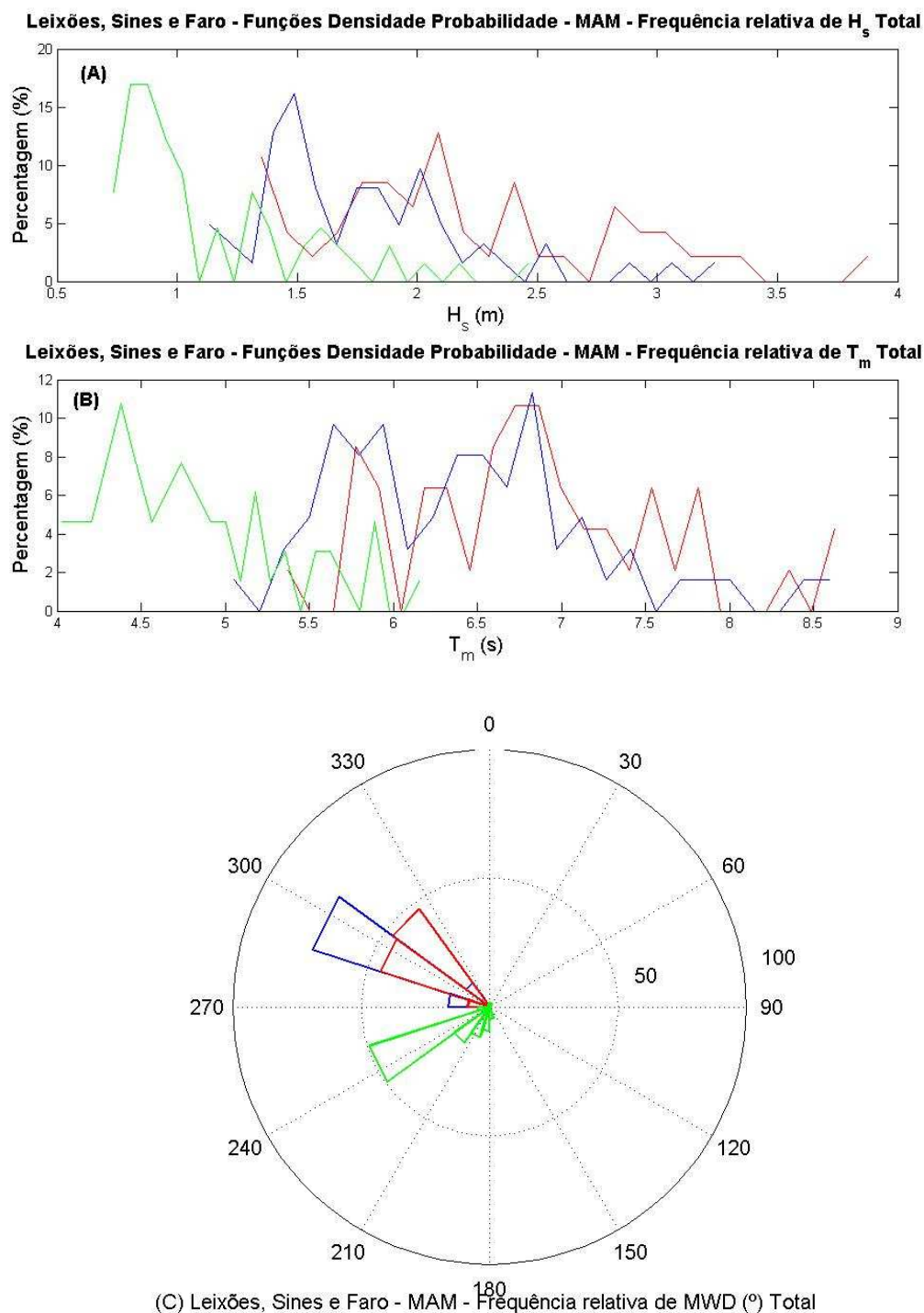
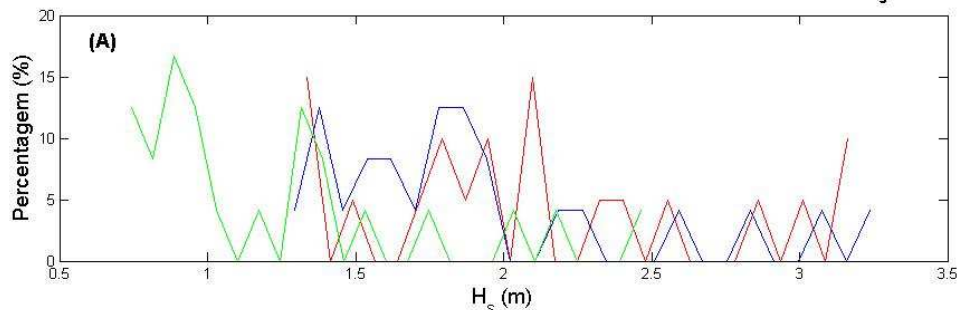


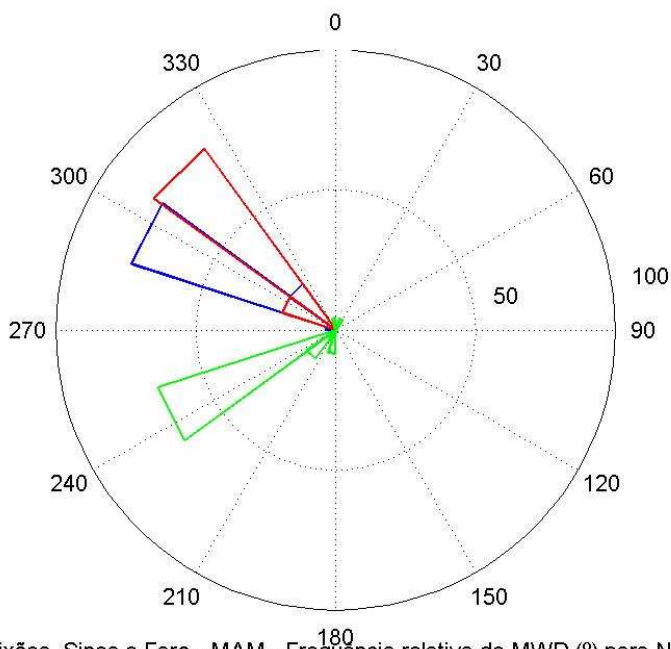
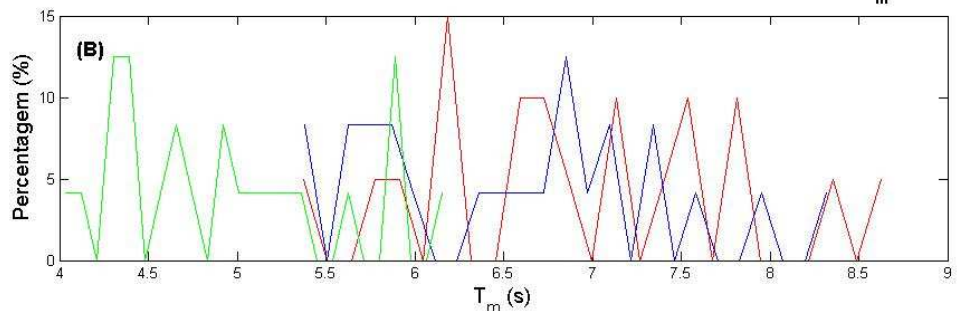
Fig. A22 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total (°, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - MAM - Frequência relativa de H_s para NAO +



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - MAM - Frequência relativa de T_m para NAO +

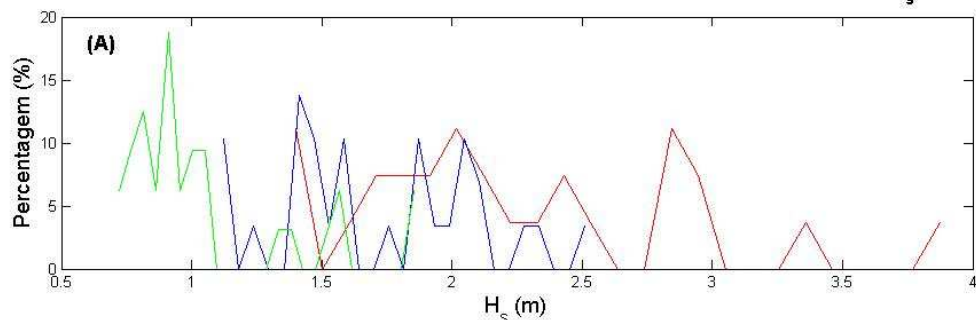


(C) Leixões, Sines e Faro - MAM - Frequência relativa de MWD (°) para NAO +

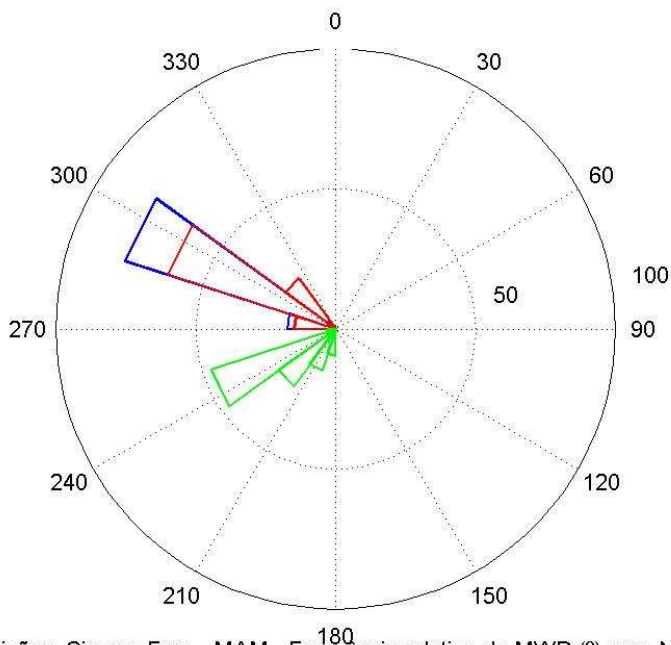
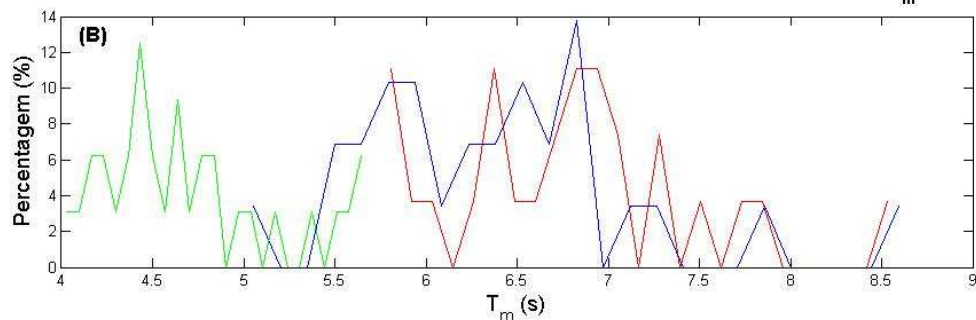
Fig. A23 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - MAM - Frequência relativa de H_s para NAO -



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - MAM - Frequência relativa de T_m para NAO -



(C) Leixões, Sines e Faro - MAM - Frequência relativa de MWD (°) para NAO -

Fig. A24 – Funções densidade de probabilidade sazonais (MAM) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.

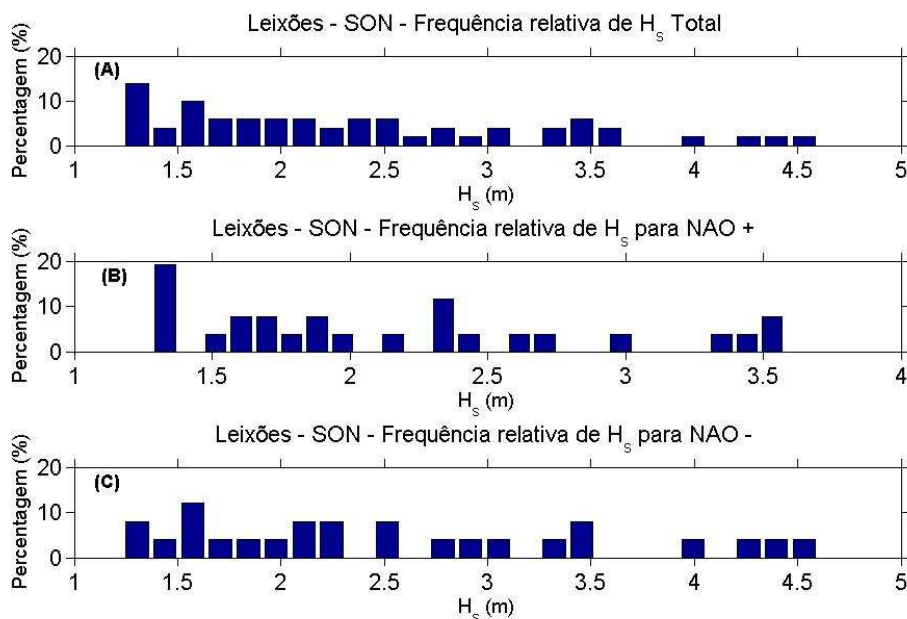


Fig. A25 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

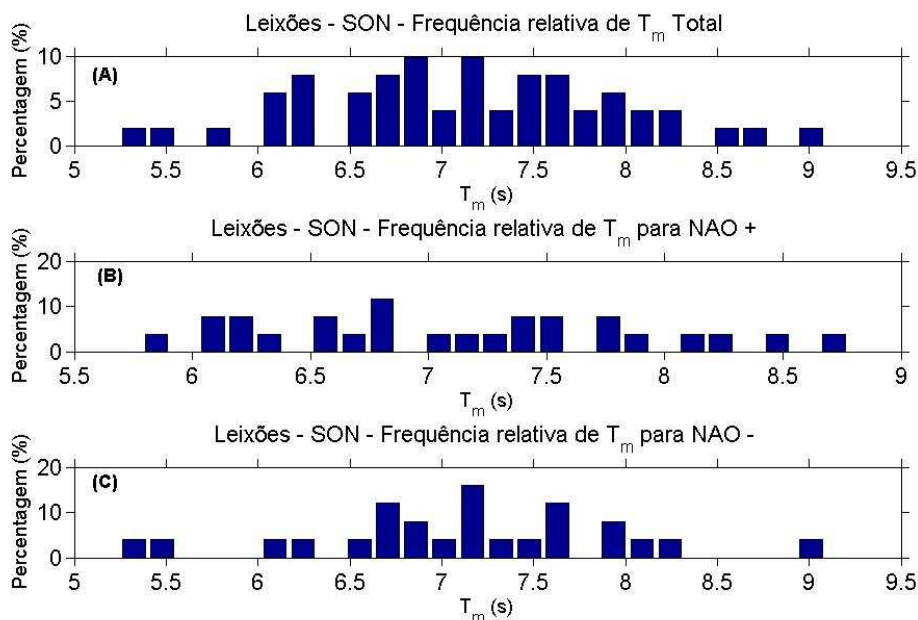
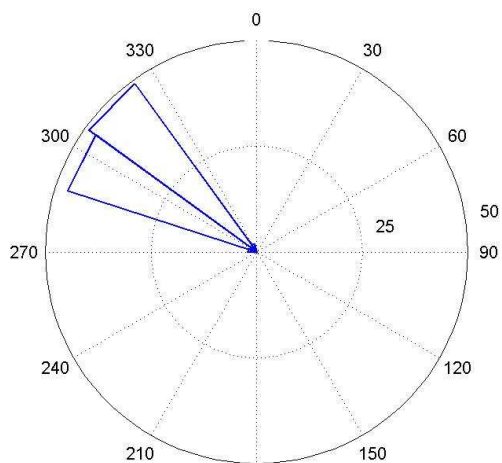
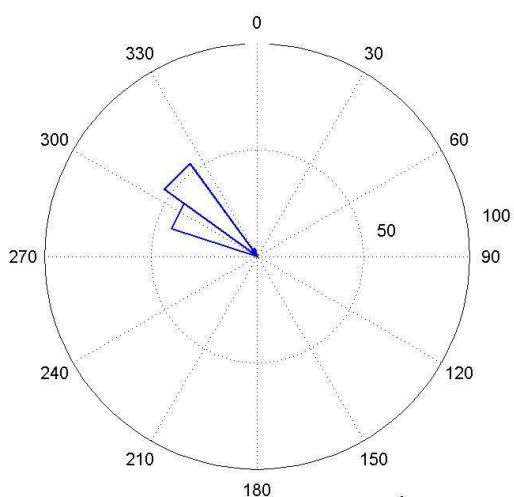


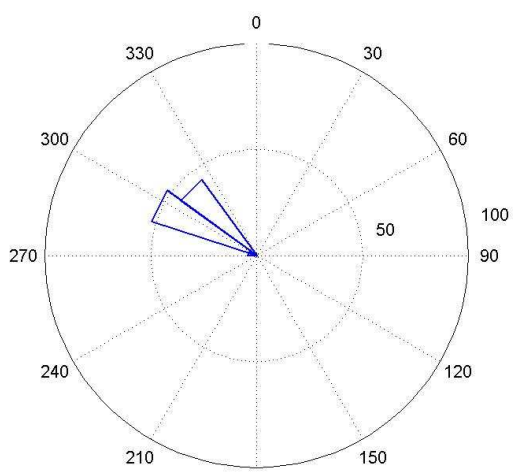
Fig. A26 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.



(A) Leixões - SON - Histograma da Direção Média (°) total



(B) Leixões - SON - Histograma da Direção Média (°) para NAO +



(C) Leixões - SON - Histograma da Direção Média (°) para NAO -

Fig. A27 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de *MWD* total (°; A), de *MWD* em regime NAO positivo (°; B) e de *MWD* em regime NAO negativo (°; C), com barras azuis, para a boia de Leixões.

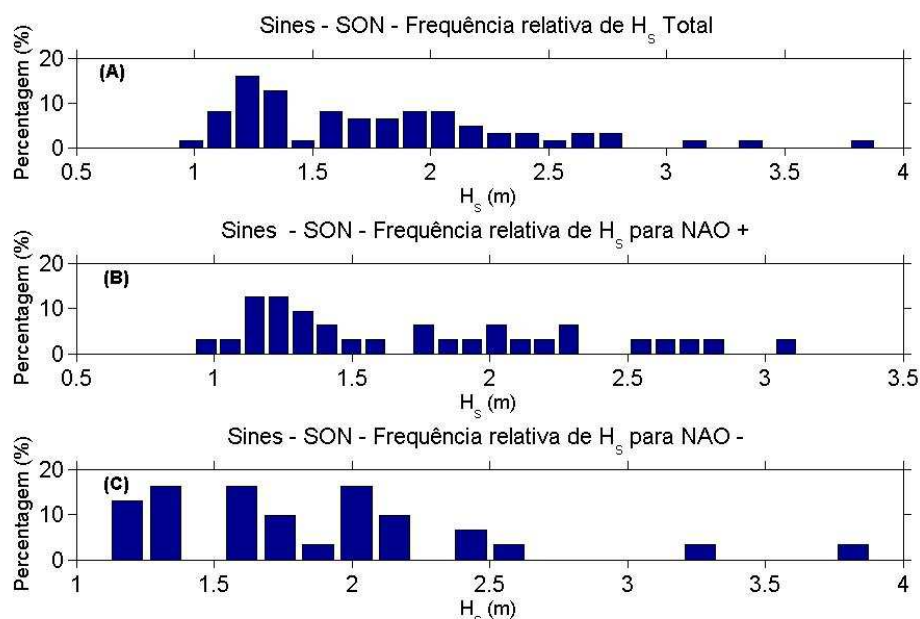


Fig. A28 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

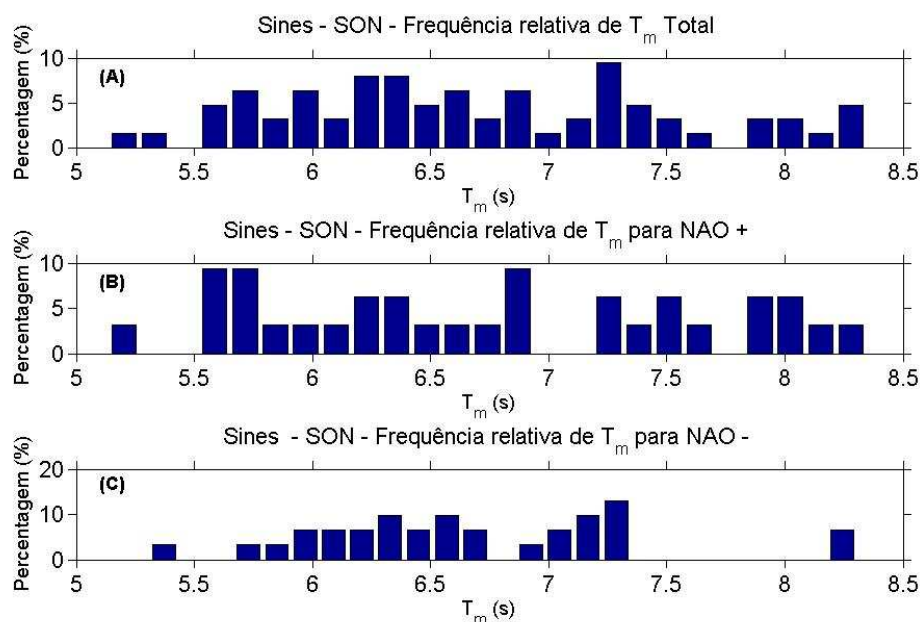
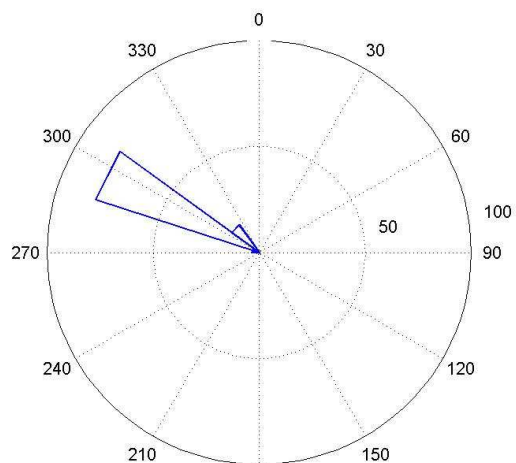
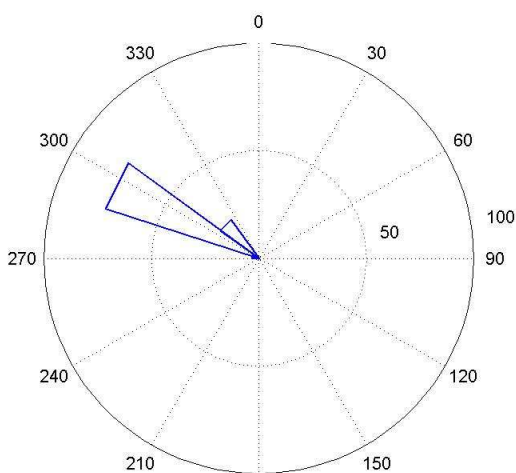


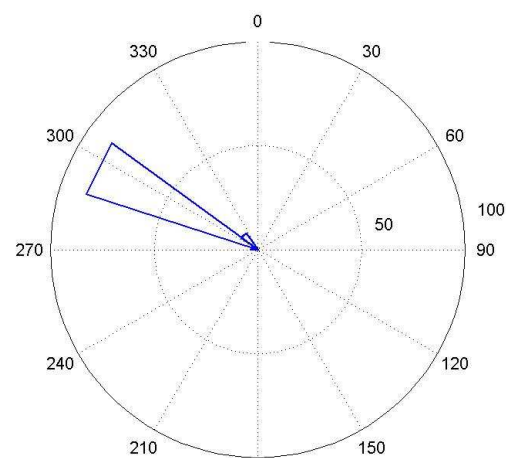
Fig. A29 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Sines.



(A) Sines - SON - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) total



(B) Sines - SON - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO +



(C) Sines - SON - Histograma da Direção Média ($^{\circ}$) para NAO -

Fig. A30 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Sines.

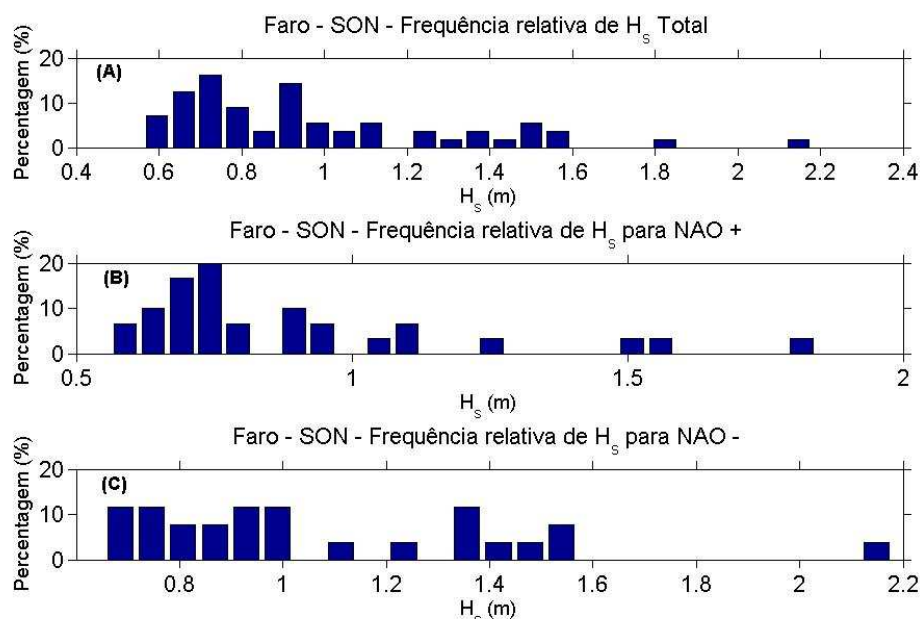


Fig. A31 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de H_s total (m; A), de H_s em regime NAO positivo (m; B) e de H_s em regime NAO negativo (m; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

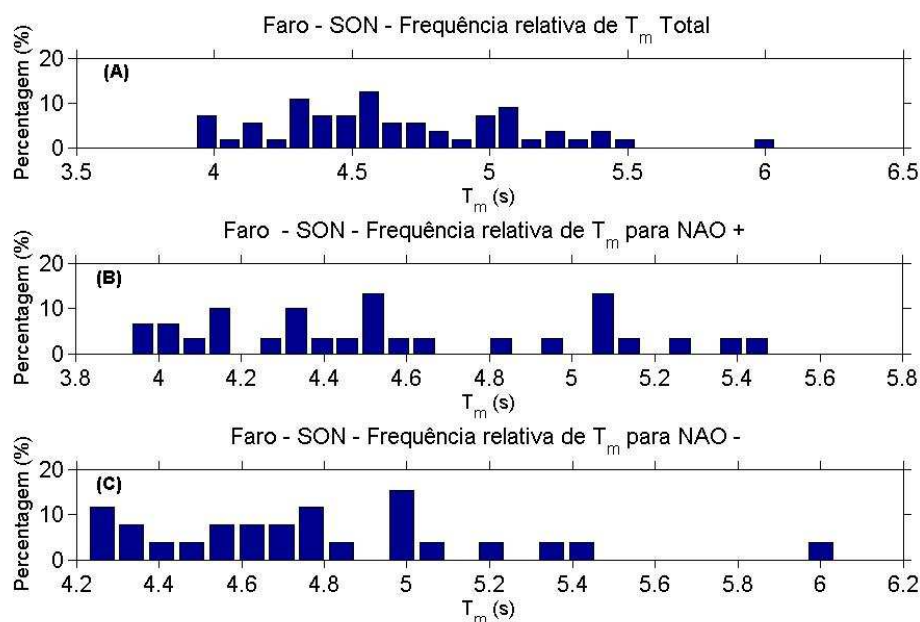


Fig. A32 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de T_m total (s; A), de T_m em regime NAO positivo (s; B) e de T_m em regime NAO negativo (s; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

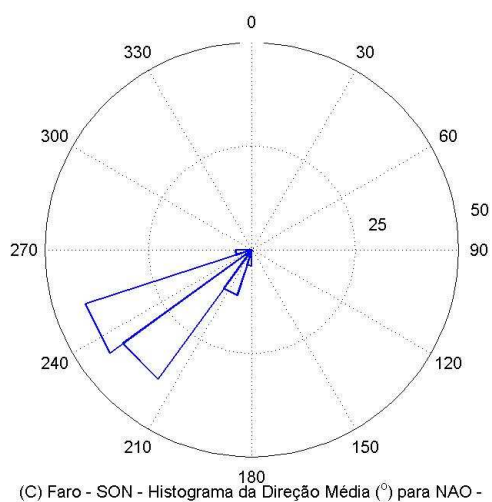
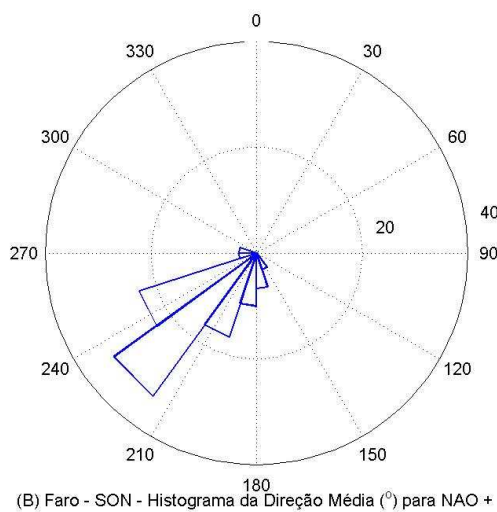
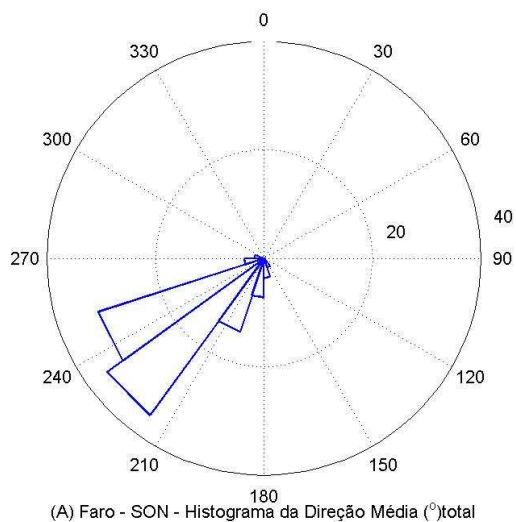


Fig. A33 – Histogramas de frequências relativas sazonais (SON) de *MWD* total ($^{\circ}$; A), de *MWD* em regime NAO positivo ($^{\circ}$; B) e de *MWD* em regime NAO negativo ($^{\circ}$; C), com barras azuis, para a boia de Faro.

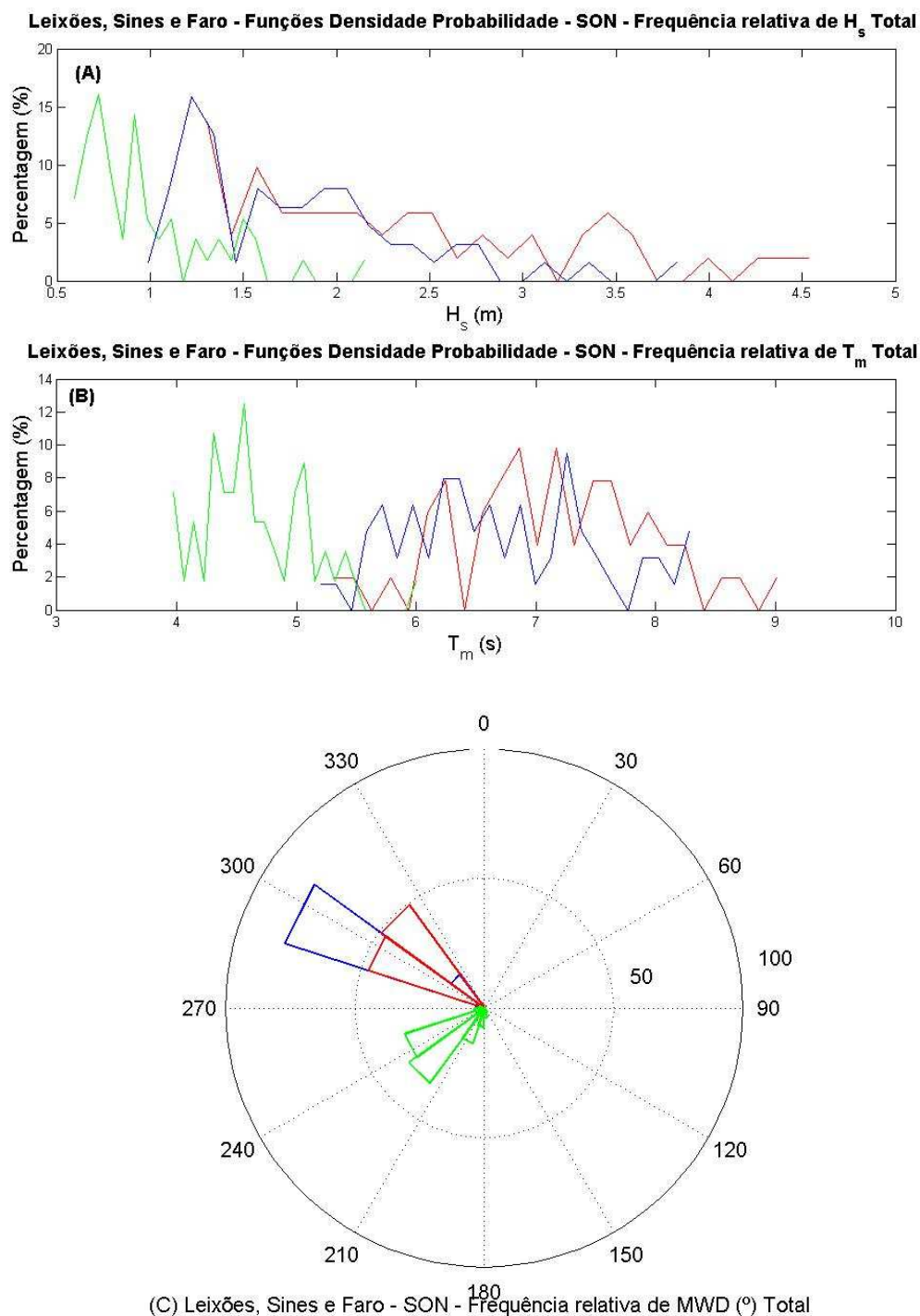
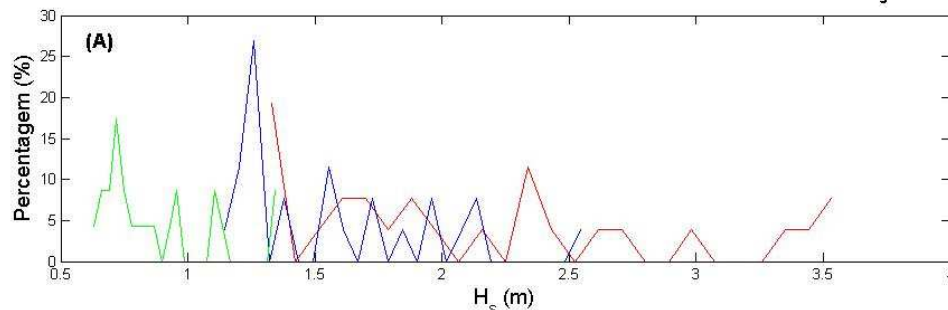


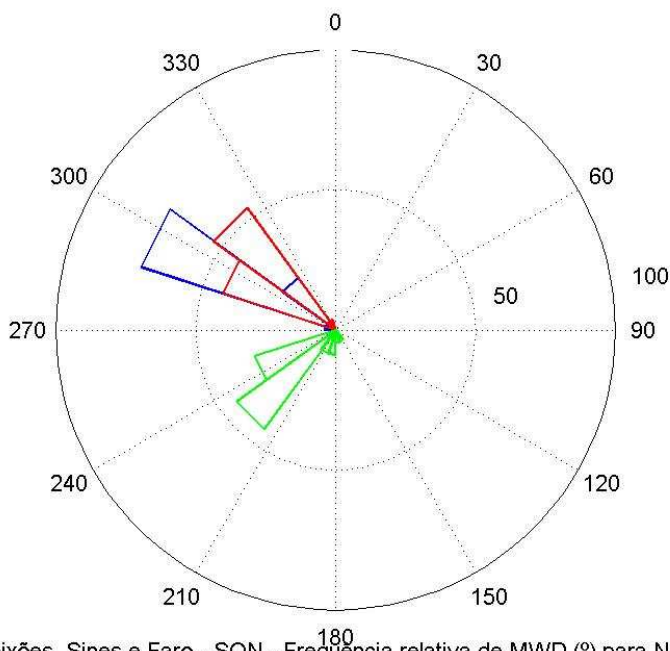
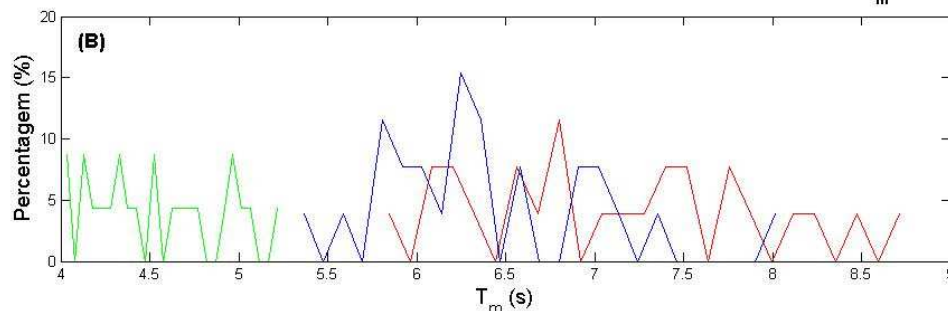
Fig. A34 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s total (m; A), T_m total (s; B) e histograma angular de MWD total (°, C), para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - SON - Frequência relativa de H_s para NAO +



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - SON - Frequência relativa de T_m para NAO +

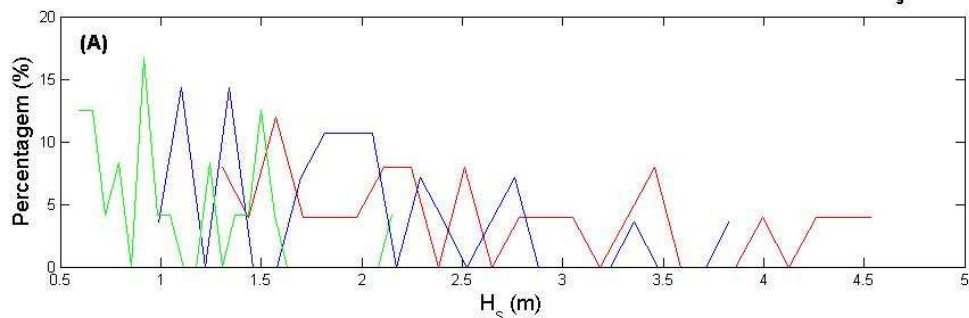


(C) Leixões, Sines e Faro - SON - Frequência relativa de MWD (°) para NAO +

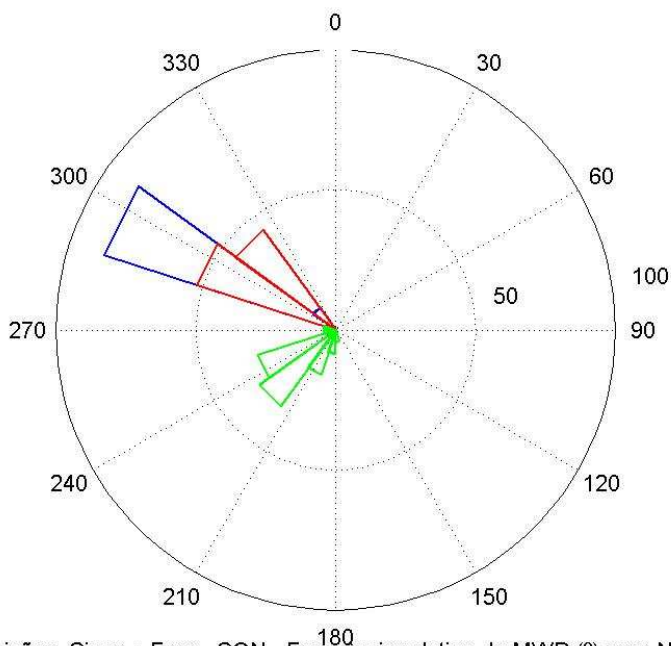
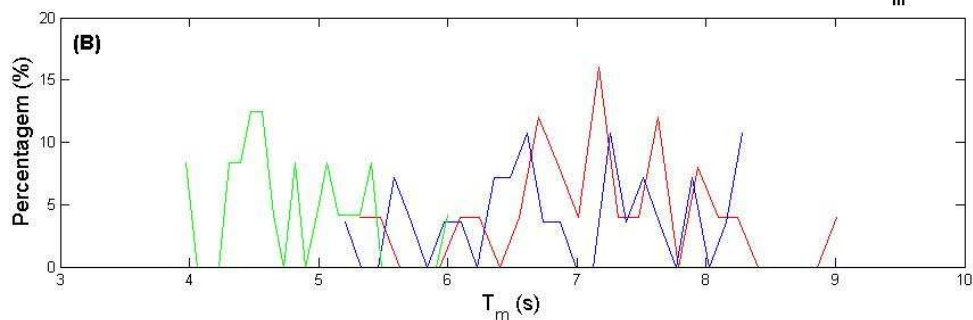
Fig. A35 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO positivo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - SON - Frequência relativa de H_s para NAO -



Leixões, Sines e Faro - Funções Densidade Probabilidade - SON - Frequência relativa de T_m para NAO -



(C) Leixões, Sines e Faro - SON - Frequência relativa de MWD (°) para NAO -

Fig. A36 – Funções densidade de probabilidade sazonais (SON) de H_s (m; A), T_m (s; B) e histograma angular de MWD (°, C), em regime NAO negativo, para as boias de Leixões, Sines e Faro. Em (A) e (B) as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por linha contínua a vermelho, linha contínua a azul e linha contínua a verde. Em (C), as boias de Leixões Sines e Faro são identificadas, respetivamente, por barras vermelhas, barras azuis e barras verdes.



ANEXO B

Este anexo, ANEXO B, apresenta os dados referentes ao índice NAO, no período de 1979 a 2012, que foram utilizados nesta dissertação de mestrado, em primeiro lugar para o tratamento dos dados de agitação marítima provenientes das boias ondógrafo (1990 – 2012) e, em segundo lugar, para o tratamento dos dados de agitação marítima provenientes da reanálise *ERA-Interim* (1979 – 2010). É apresentada, de seguida, uma Figura alusiva à variação do índice NAO no período considerado.

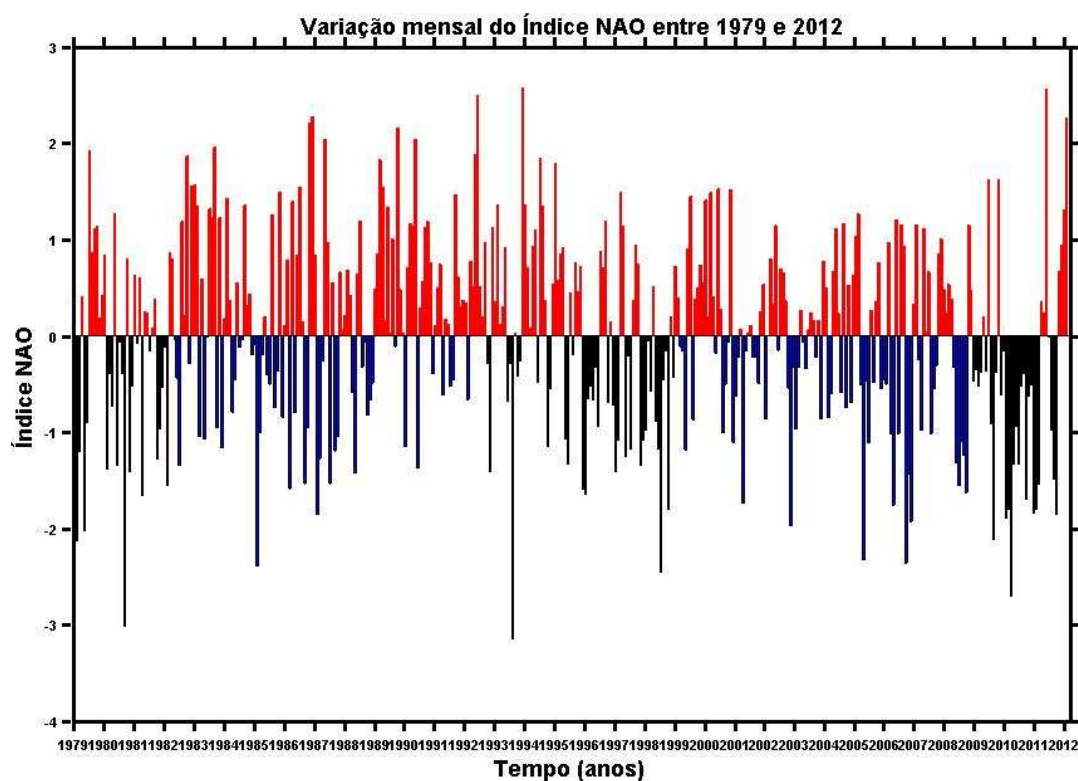


Fig.B1 – Variação anual do Índice NAO, relativa a valores mensais, no período de 1979 a 2012. As barras a vermelho simbolizam períodos de índice NAO positivo, e barras a azul simbolizam períodos de índice NAO negativo.